



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“CONSTRUCCIÓN DE UN CATALIZADOR ELECTROLÍTICO DE OBTENCIÓN
DE HIDRÓGENO PARA ALMACENAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN
SISTEMA PILA COMBUSTIBLE”**

Autores:

Chicaiza Almachi Franklin Cirilo

Jácome Corrales Alex Marcelo

Tutor:

Ing. Carlos Alfredo Espinel Cepeda

Latacunga – Ecuador

2017



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Chicaiza Almachi Franklin Cirilo con número de C.I. 172173848-0 y Jácome Corrales Alex Marcelo con número de C.I. 050299873-5, con el Título de Proyecto de Investigación:

“CONSTRUCCIÓN DE UN CATALIZADOR ELECTROLÍTICO DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO PARA ALMACENAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN SISTEMA PILA COMBUSTIBLE”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo tanto, expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 15 de febrero de 2017

Para constancia firman:

.....
Ing. McS. Edwin Homero Moreano Martínez
C.C. 050260750-0
LECTOR 1 (Presidente)

.....
Ing. McS. Cristian Fabián Gallardo Molina
C.C. 050284769-2
LECTOR 2

.....
Ing. Dr. Juan Mato Tamayo
C.C. 1756944284
LECTOR 3



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **Chicaiza Almachi Franklin Cirilo** y **Jácome Corrales Alex Marcelo** declaro ser autor (a) del presente proyecto de investigación: **“CONSTRUCCIÓN DE UN CATALIZADOR ELECTROLÍTICO DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO PARA ALMACENAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN SISTEMA PILA COMBUSTIBLE”**, siendo Ing. Carlos Alfredo Espinel Cepeda director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Chicaiza Almachi Franklin Cirilo

C.I 172173848-0

Jácome Corrales Alex Marcelo

C.I 050299873-5



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el título:

“CONSTRUCCIÓN DE UN CATALIZADOR ELECTROLÍTICO DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO PARA ALMACENAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN SISTEMA PILA COMBUSTIBLE”, de Chicaiza Almachi Franklin Cirilo y Jácome Corrales Alex Marcelo, de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 15 febrero 2017

Ing. Carlos Alfredo Espinel Cepeda

Tutor del Trabajo de Investigación



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de coordinador de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, certifico que mediante el Proyecto de Investigación: **“CONSTRUCCIÓN DE UN CATALIZADOR ELECTROLÍTICO DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO PARA ALMACENAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN SISTEMA PILA COMBUSTIBLE”** Los señores CHICAIZA ALMACHI FRANKLIN CIRILO y JÁCOME CORRALES ALEX MARCELO realizan la entrega de un módulo de un generador electrolítico de obtención de hidrógeno para el laboratorio de la carrea de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Los autorizo para que usen el presente documento para cualquier fin legal pertinente de la Universidad.

Latacunga, 19 Enero del 2017

.....
Dr. Ph.D. Enrique Torres Tamayo
Pasaporte N°. I731909
ÁREA DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo de grado primeramente lo agradezco Dios, por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hizo realidad este sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

De igual manera agradecer a mi profesor de Investigación y de Tesis de Grado, Ing. Carlos Alfredo Espinel Cepeda por su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por su rectitud en su profesión como docente, por sus consejos, que ayudaron a formarme como persona e investigador.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones. Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

Franklin

DEDICATORIA

Este Proyecto Investigativo se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

Para mis padres Chicaiza Moreno Ángel Román y María Mercedes Almachi por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Franklin

AGRADECIMIENTO

Por la culminación del presente Proyecto de Investigación, agradezco en primera instancia a Dios, por darme sabiduría e inteligencia para afrontar día a día retos que se presentan y que con su infinito amor he podido sobrellevar.

A mi querida UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, por recibirme en sus aulas y hacerme partícipe de su desarrollo, así como a cada uno de mis docentes que supieron brindarme sus conocimientos para mi formación humana y profesional. En especial a mi tutor de Investigación, Ing. Carlos Alfredo Espinel Cepeda por su guía y contribución oportuna, para que el presente Proyecto de Investigación se haga realidad.

Y para finalizar también agradezco a los que fueron mis compañeros de clase durante todos los niveles de mi carrera, ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han marcado mi vida con gratos momentos y aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante.

Alex

DEDICATORIA

A mi Padre celestial que en diferentes momentos me ha levantado, sostenido con su diestra y derramado bendiciones grandemente.

A mis padres, Carmen Amelia Corrales y Edgar Salomón Jácome “Siempre Higuita”, quiénes han cuidado de mí desde niño y formado para afrontar la vida con valores. Por su apoyo incondicional y por ser las personas que me han acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y de vida.

Dedico también a mi gran amigo y hermano, Johnny por los momentos compartidos y por ser mi aliento para sobresalir.

Y a mí bonita Estefany Sánchez, ya que su afecto y cariño fueron detonantes de mi felicidad, esfuerzo y de mis ganas de buscar lo mejor para nuestro porvenir.

Alex

ÍNDICE

PRELIMINARES

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
Título del Proyecto:	1
Fecha de inicio.....	1
Fecha de finalización	1
Lugar de ejecución.....	1
Facultad que auspicia:	1
Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas	1
Carrera que auspicia:	1
Ingeniería Electromecánica	1
Equipo de Trabajo	1
2. RESUMEN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS.....	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos.....	6

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	8
Hidrógeno	8
Producción de Hidrógeno	10
Las Pilas de combustible	16
Ventajas	19
Desventajas	21
Tipos	21
Implementación	24
9. HIPÓTESIS	31
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL	32
Métodos	32
Técnicas	33
Instrumentos	33
Selección de los componentes del sistema	33
Sistema fotovoltaico	33
Catalizador electrolítico.....	36
Pila de combustible.....	42
Implementación de los componentes.....	43
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	44
Resultados obtenidos	44
Verificación de la hipótesis	46
12. IMPACTOS	47
Aspecto Técnico	47
Aspecto Ambiental	47
13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	47

14.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
15.	BIBLIOGRAFÍA	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Evolución del mercado energético 1800 - 2200	8
Figura N° 2: Fuentes de energía primaria, conversores de energía y aplicaciones.....	9
Figura N° 3: Esquema básico de la electrolisis.....	12
Figura N° 4: Demanda eléctrica vs la temperatura de operación.....	12
Figura N° 5: Celda húmeda (izquierda) y celda seca (derecha)	13
Figura N° 6: Eficiencia vs. Potencia de varias tecnologías	18
Figura N° 7: Funcionamiento de una pila de Membrana de Intercambio Protónico	19
Figura N° 8: Tecnologías de las pilas de combustible y sus aplicaciones	20
Figura N° 9: Elementos constitutivos de una pila tipo PEM	22
Figura N° 10: Evolución de los costes de los paneles solares	26
Figura N° 11: Producción de hidrógeno basada en la energía solar	26
Figura N° 12: Celda solar monocristalino vs policristalino.....	28
Figura N° 13: Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.....	28
Figura N° 14: Metodología de diseño	32
Figura N° 15: Diferencia de tensión entre las celdas.....	37
Figura N° 16: Placas de acero inoxidable	38
Figura N° 17: Plancha de revestimiento de acrílico	38
Figura N° 18: Sujeción de placas pernos y tuercas de acero	39
Figura N° 19: Recubrimiento con resina acrílica.....	39
Figura N° 20: Algoritmo para el cálculo de la producción de gas.....	40
Figura N° 21: La relación de hidrógeno y potencia.....	42
Figura N° 22: Litros de H ₂ vs. Temperatura por cada placa.....	44
Figura N° 23: Mililitros vs. Celsius por la totalidad del catalizador	44
Figura N° 24: Resultados obtenidos sobre Voltaje e Intensidad	45
Figura N° 25: Resultados obtenidos sobre la Potencia y Caudal.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Beneficiarios del proyecto.....	4
Tabla N° 2: Actividades, resultados y medios de verificación	7
Tabla N° 3: Densidad energética de varios combustibles.....	10
Tabla N° 4: Electrolitos más usados en la electrolisis	14
Tabla N° 5: Tipos de pilas de combustible y sus características principales.....	20
Tabla N° 6: Proyección de costes de producción de hidrógeno	24
Tabla N° 7: Precios preferentes establecidos por el CONELEC	25
Tabla N° 8: Tipos de baterías con sus respectivas características	30
Tabla N° 9: Operacionalización de las variables	31
Tabla N° 10: Resultados de la producción de gas	41
Tabla N° 11: Resultados obtenidos de la configuración en serie	41
Tabla N° 12: Volumen de gas generado en un segundo	41
Tabla N° 13: Características del sistema fotovoltaico	34
Tabla N° 14: Características del Panel solar Energy 50C.....	35
Tabla N° 15: Características requeridas de la batería	35
Tabla N° 16: Características de la Pila tipo PEM Horizon Cell H-12.....	42
Tabla N° 17: Presupuesto del proyecto.....	48

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “CONSTRUCCIÓN DE UN CATALIZADOR ELECTROLÍTICO DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO PARA ALMACENAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN SISTEMA PILA COMBUSTIBLE”

Autores: Chicaiza Almachi Franklin Cirilo y
Jácome Corrales Alex Marcelo

RESUMEN

La investigación se desarrolla con el fin de construir un catalizador electrolítico de obtención de hidrógeno para almacenar energía eléctrica en un sistema de pila combustible para el Laboratorio de Energías Renovables de la Universidad Técnica de Cotopaxi. El documento recopila información, selecciona componentes e implementa los aparatos necesarios para generación de energía eléctrica, a través de la conversión de la producción de hidrógeno, en base a una fuente de energía primaria como la solar. Así el resultado obtenido se concluye con la construcción de un catalizador electrolítico que consiste en 7 placas de acero inoxidable de 120 * 120mm y 3mm de espesor, conectado en una configuración en serie. Cuyas características eléctricas de operación son 12Vcd y 1.16A. Mediante el método científico se determinó una producción de hidrógeno teórico de 11.9 ml/s. Después de un posterior análisis y medición de resultados en la práctica se obtuvo un caudal de gas de 8.78 ml/s. Alrededor del dispositivo se implementó un sistema fotovoltaico de 50Wp (vatios pico) con una capacidad de reserva de 6 días y una pila combustible tipo PEM (Membrana Intercambiadora de Protones) de 12W. El aporte técnico de la investigación es la conversión de la energía solar en un vector energético, hidrógeno, y su posterior transformación en electricidad con la pila de combustible tipo PEM.

Palabras clave: Catalizador electrolítico, Pila de combustible, energía solar, hidrógeno, paneles solares.

THEME:

"CONSTRUCTION OF AN ELECTROLYTIC CATALYST FOR OBTAINING HYDROGEN TO STORE ELECTRICAL ENERGY IN A COMBUSTIBLE PILE SYSTEM"

AUTHORS:

Chicaiza Almachi Franklin Cirilo

Jácome Corrales Alex Marcelo

ABSTRACT

The research was developed with the aim of building a catalyst electrolytic capacitor for obtaining hydrogen to store electrical energy in a fuel cell system for the Renewable Energy Laboratory of the Technical University of Cotopaxi. The document gathers information, select components and implements the necessary equipment for power generation, through the conversion of hydrogen production, on the basis of a primary energy source such as solar. So the result is concluded with the construction of a catalyst electrolyte which consists of 7 plates of stainless steel 120 * 120mm and 3mm thick, connected in a series configuration. Whose electrical characteristics of operation are 12Vdc and 1.16A. through the scientific method was determined a theoretical hydrogen production of 11.9 ml/s. After further analysis and measurement of results obtained in practice a gas flow rate of 8.78ml/s. Around the device was implemented a photovoltaic system of 50Wp (Watt peak) with a reserve capacity of 6 days and a PEM fuel cell stack anion exchange membrane (protons) of 12W. The technical contribution of the research is the conversion of solar energy in an energy carrier, hydrogen, and its subsequent transformation into electricity with the PEM fuel cell.

Keywords: Electrolytic catalyst, Fuel cell, solar energy, hydrogen, solar panels.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Chicaiza Almachi Franklin Cirilo y Jácome Corrales Alex Marcelo Egresados de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, cuyo título versa “**CONSTRUCCIÓN DE UN CATALIZADOR ELECTROLÍTICO DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO PARA ALMACENAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN SISTEMA PILA COMBUSTIBLE**”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 3 de febrero del 2017

Atentamente,

Lic. Edison Marcelo Pacheco Pruna.
C.C. 050261735-0

DOCENTE CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

Construcción de un catalizador electrolítico de obtención de hidrógeno para almacenar energía eléctrica en un sistema pila combustible.

Fecha de inicio: abril, 2016

Fecha de finalización: agosto, 2016

Lugar de ejecución: Barrio San Felipe – Eloy Alfaro – Latacunga – Cotopaxi - Zona 3 - Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Equipo de Trabajo

Tutor del Proyecto Investigación:

- Nombre: Ing. Carlos Alfredo Espinel Cepeda.
- Celular: 0984744165
- Correo electrónico: espinelc.caec@gmail.com
- Dirección: Urbanización Miño Molina, Latacunga

Coordinador de proyecto:

- Nombre: Chicaiza Almachi Franklin Cirilo
- Celular: 0939950032
- Correo electrónico: franklin_915@outlook.com
- Dirección: Av. José Ignacio Albuja, Aloasi

Coordinador de proyecto:

- Nombre: Alex Marcelo Jácome Corrales
- Celular: 0992975407
- Correo electrónico: alex.jacome.corrales90@gmail.com
- Dirección: Barrio “La Calera”

Área de Conocimiento:

Energías Alternativas

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

2. RESUMEN DEL PROYECTO

El presente proyecto es de suma importancia para la Universidad Técnica de Cotopaxi, puesto que se pretende construir un catalizador de hidrógeno para generar energía eléctrica, la misma que será almacenada en una pila de combustible, lo que dará lugar a una fuente de energía sustentable, renovable y sin contaminación para el medio ambiente, de tal manera que se preserve nuestro entorno, además de ser una directriz para próximos proyectos orientados a este campo, en el ámbito educativo y tecnológico.

El objetivo de este proyecto es construir un generador de hidrógeno de pequeñas dimensiones y producción de hidrógeno reducida. Existen diferentes métodos de obtención de hidrógeno. En este caso, se utilizará el diseño de un generador de hidrógeno por electrólisis el agua.

La electrólisis no es el método más rentable de obtener hidrógeno, pero en el presente es la forma más factible y efectiva, puesto que el generador tiene que ser de dimensiones reducidas. La electrólisis del agua es la descomposición de agua (H_2O) en gas de oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica a través del agua.

Una fuente de poder eléctrica es conectada a dos electrodos hechos de un metal inerte como el platino o acero inoxidable, los cuales son puestos en el agua. En una celda propiamente diseñada, el hidrógeno aparecerá en el cátodo (el electrodo negativamente cargado, donde los

electrones son bombeados al agua), y el oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo positivamente cargado). La cantidad de hidrógeno generado es el doble que la de oxígeno, y ambas son proporcionales al total de carga que fue enviada por el agua.

En la actualidad una de las soluciones ecológicas más viables para la generación de energía, son los catalizadores electrolíticos de hidrógeno, los mismos que acoplados a una pila combustible de almacenamiento, permiten almacenar energía renovable.

Por último, el desarrollo de esta investigación beneficiará directamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi, estudiantes y carreras afines, puesto que se convertirá en un precedente valioso para el enfoque e investigación en los estudiantes, además de permitir la aplicación de la práctica en los mismos, llevando los conocimientos teóricos al campo de la experimentación a través del laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la Institución.

Palabras clave: Catalizador electrolítico, pila combustible, hidrógeno, energía solar, paneles solares.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La investigación se desarrolló, con el fin de construir un catalizador de hidrógeno que genere energía eléctrica, almacenada en una pila de combustible; radicando su importancia en que dará lugar a una fuente de energía sustentable, renovable y sin contaminación para el medio ambiente, además de ser una directriz para proyectos orientados a este campo, en el ámbito educativo y tecnológico.

La producción de hidrógeno viene dictada por la economía del proceso, las necesidades del mercado y también por las regulaciones ambientales. El hidrógeno permite el acceso a un amplio grupo de precursores primarios tales como combustibles fósiles, energía nuclear y con una incursión cada vez mayor, las energías renovables (eólica, solar, biomasa).

Este elemento es un excelente vector energético, que ofrece eficiencia mediante el sistema pila de combustible que hoy en día es una realidad en países desarrollados; pudiendo ser la solución al paradigma energético, pues permitirá reducir las importaciones de combustibles fósiles y las emisiones de gases contaminantes. Su único subproducto al convertirse en

energía es vapor de agua. Por lo tanto, el uso de hidrógeno representaría un avance respecto del problema de contaminación en el futuro.

El marco legal que sustenta el proyecto es el objetivo 11 del Plan Nacional del Buen Vivir: “Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica.” Las políticas actuales benefician el cambio de la matriz energética, priorizando inversiones públicas y privadas en la generación de electricidad con energías renovables.

Por último, el desarrollo de la investigación beneficiará directamente a los estudiantes y docentes de la carrera de ingeniería electromecánica, contribuyendo al rendimiento energético y la aplicación de la praxis; llevando los conocimientos teóricos al campo de la experimentación a través del laboratorio de Energías de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios del proyecto es la Universidad Técnica de Cotopaxi, específicamente al Laboratorio de Energías y a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica y Eléctrica.

Tabla N° 1: Beneficiarios del proyecto

Beneficiarios	Descripción
Docentes de la cátedra de Energías Renovables	Ing. Ms.C.
Estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica	536 estudiantes

Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La problemática actual del uso de energías no renovables, hacen que tengan un alto costo y que de ella dependa todo proceso industrial lo hace que se generen más gases de efecto invernadero. El uso intensivo de combustibles fósiles, asociado a condiciones ambientales desfavorables, propician los eventos de polución que hoy afectan a las distintas ciudades del país, en donde cada episodio crítico de contaminación trae asociados problemas socio ambientales que parecen sin solución, al igual que muchos países debemos cambiar el modelo

energético futuro, suministrando una energía eficiente inofensiva para el ambiente, no agotable y suficientemente competitiva respecto al costo actual de las tecnologías convencionales.

La generación de electricidad, en términos generales, consiste en transformar una energía que puede ser de tipo química, térmica, mecánica, hidráulica, solar y eólica, entre otras en energía eléctrica. Este fenómeno ha permitido el avance científico y tecnológico de la sociedad. Apareciendo la tecnología de las energías verdes (eólico, hidráulica y solar) como una alternativa a las demás fuentes productoras de contaminación (petróleo y carbón). Pero esta producción energética alternativa en su mayoría tiene grandes desventajas. Por la propia naturaleza de la generación de electricidad; no puede ser almacenada, debe consumirse.

La energía eólica solo genera cuando existe viento, la solar solo cuando hay radiación solar y la hidráulica cuando exista suficiente agua. La intermitencia de estos sistemas obliga la búsqueda de sistemas de acumulación eléctrica. Una de estas soluciones es el hidrógeno que a largo plazo puede llegar a ser el combustible más conveniente ya que tiene la ventaja de que su combustión es limpia sus únicos productos son calor y agua. Cuando se utiliza como combustible en pilas de combustibles permiten transformar la energía de una reacción química en energía eléctrica de forma eficiente y limpia. El hidrogeno y las pilas de combustible tienen la posibilidad de revolucionar el modo en el que producimos y usamos la energía. Es por ello que se requiere comprender por completo todas las ventajas y desventajas del uso de esta energía para fomentar la investigación para que lleve la solución de los problemas que en estos tiempos presenta, como es el caso de su obtención y almacenaje de forma eficiente.

La Constitución Ecuatoriana impulsa la producción de energía renovable no convencional, estableciendo en su Art. 413: “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.”

En la práctica el Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico en su Art.63 fomenta el uso de desarrollos energéticos renovables a través de los organismos públicos, la

banca, universidades e instituciones privadas. El CONELEC colocara fondos públicos en proyectos de electrificación rural a base energías alternativas y renovables.

Así la regulación 004/11 establece precios preferenciales de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales (Tabla N° 7). Todas estas políticas fomentan las inversiones públicas, privadas y mixtas beneficiando el desarrollo, implementación e investigación de nuevas tecnologías para producir, almacenar y utilizar hidrógeno a partir de energías renovables.

Con la construcción de un catalizador electrolítico para la obtención de hidrógeno para la generación de energía eléctrica en un sistema pila combustible permitirá ser un punto de partida para demostrar las bondades que presenta la utilización de energías alternativas, específicamente el hidrógeno, como una opción adicional en el mercado energético.

6. OBJETIVOS

Objetivo general

Construir un catalizador electrolítico para la obtención de hidrógeno mediante el proceso de electrolisis para la generación de energía eléctrica en un sistema pila combustible

Objetivos específicos

- Recopilar información argumentativa que respalde la construcción y funcionamiento de un catalizador de hidrógeno para su aplicación.
- Dimensionar los componentes necesarios para generar energía primaria a partir de paneles fotovoltaicos.
- Seleccionar y construir un catalizador electrolítico para generar hidrógeno.
- Seleccionar e implementar una pila combustible que genere electricidad a partir de la producción de hidrógeno.
- Implementar el conjunto híbrido solar-hidrógeno para verificar los parámetros eléctricos del módulo.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados, se elaboró la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Actividades, resultados y medios de verificación

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de verificación
Recopilar toda la información argumentativa que respalde la construcción y funcionamiento.	Realizar una investigación bibliográfica	Determinación de los lineamientos iniciales de diseño	Procesos de producción de hidrógeno, implementación de la tecnología y tipos de pilas de combustible
Dimensionar los componentes necesarios para generar energía primaria a partir de paneles fotovoltaicos	Cálculo de la capacidad necesaria de los componentes del sistema	Adecuado dimensionamiento y obtención de la energía solar suficiente	Confirmación de la estabilidad de los parámetros eléctricos y la potencia necesaria para el conjunto de equipos
Seleccionar y construir un catalizador electrolítico para generar hidrógeno	Calculo y dimensionamiento de los componentes del catalizador	Construcción y ensamblaje de los componentes del catalizador	Comprobación de los parámetros teóricos de producción de hidrógeno
Seleccionar e implementar una pila combustible que genere electricidad a partir de la producción de hidrógeno	Selección técnica del equipo en función de la investigación bibliográfica	Tipo de pila de combustible y potencia de generación	Revisión de los parámetros eléctricos en base a la producción de hidrógeno
Implementar el conjunto híbrido solar-hidrógeno para verificar los parámetros eléctricos del modulo	Implementación de todos los equipos en un módulo didáctico	Modulo didáctico	Guía de prácticas para el laboratorio

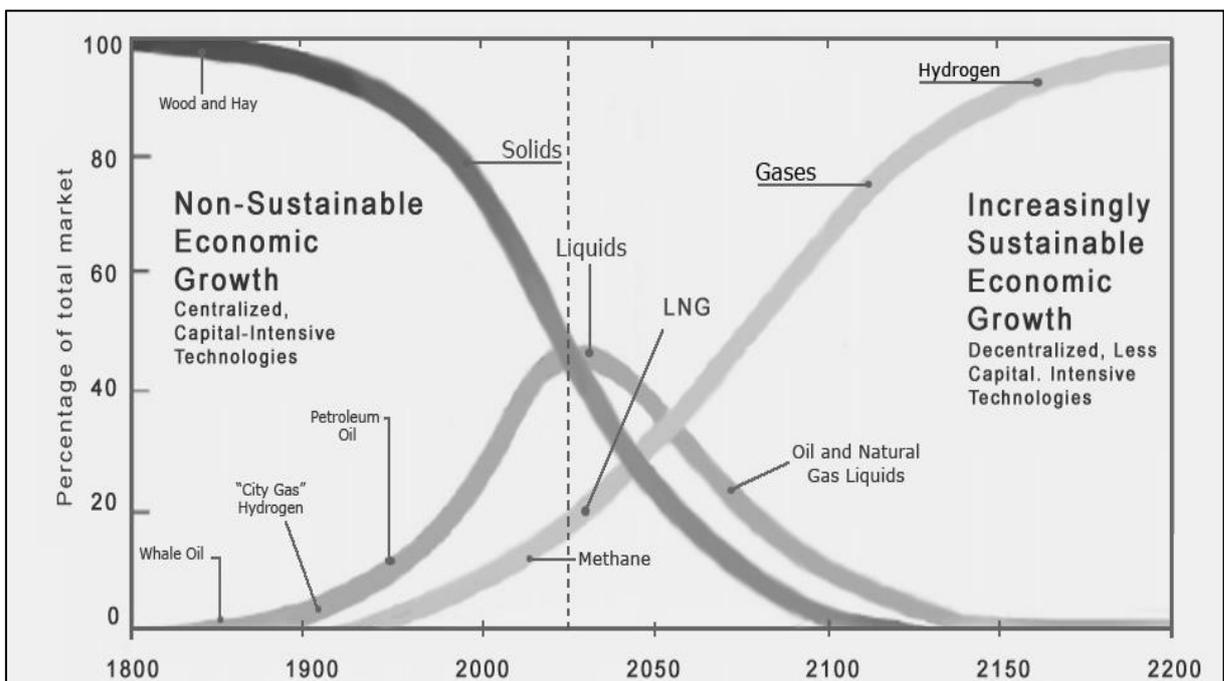
Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

Hidrógeno

El hidrógeno es un elemento químico más simple del Universo. Aunque es un recurso abundante en la naturaleza, formando parte de las tres cuartas partes del universo, no se halla aislado. Forma compuestos como los hidrocarburos o el agua.

Figura N° 1: Evolución del mercado energético 1800 - 2200



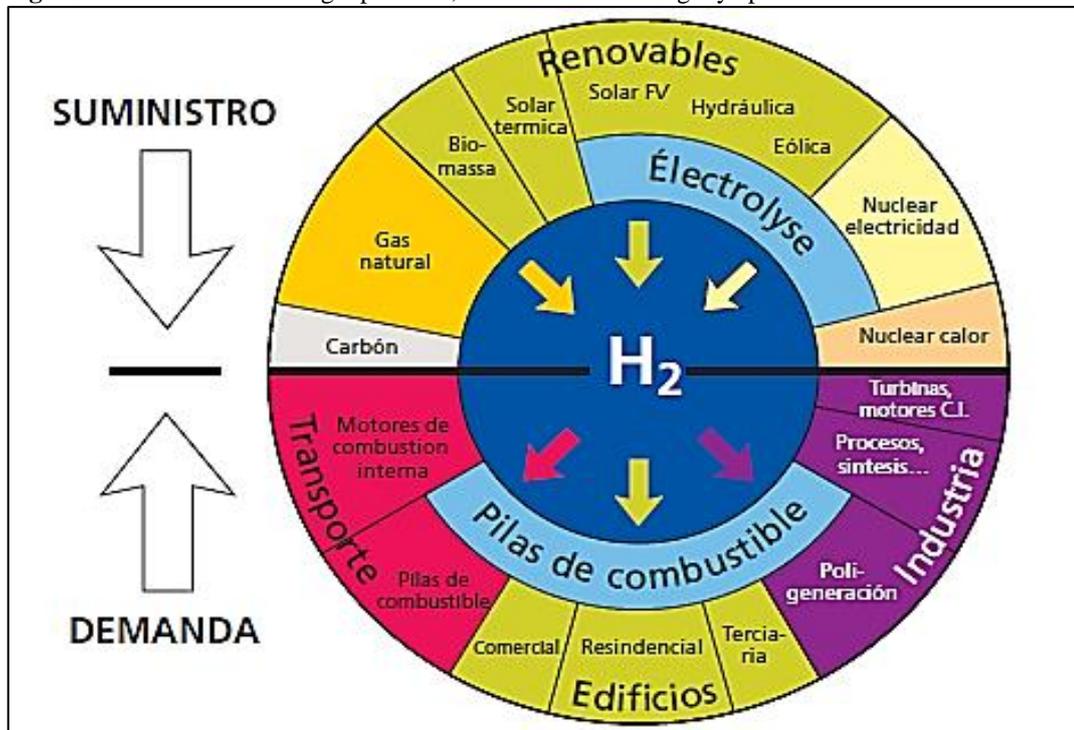
Fuente: (Dixon, 2006)

“El hidrógeno forma parte de las economías energéticas del futuro” (Linares y Moratilla, 2001, pág. 10). La motivación de esta afirmación son las características que, brinda este elemento, y los pronósticos como la principal fuente de energía para el año 2150. En la Figura N° 1 describe la evolución de las fuentes de energía y la estimación de las mismas en el futuro. Se puede observar, de izquierda a derecha, como disminuye la sustentabilidad económica de las energías llamadas contaminantes versus las energías limpias. Esto se debe a tres factores: descentralización, reducción del capital de inversión y avance de la tecnología. Estas características son demandadas a medida que avanza la industrialización y aumenta los estándares de vida.

Las principales ventajas del hidrógeno son:

- **Eficiencia energética.** - la conversión de energía es directa, sin la necesidad de algún intermediario como las máquinas térmicas. Superando las limitaciones del ciclo de Carnot. Puede ser utilizado de forma estacionaria, transporte y portátil.
- **Dependencia energética.** - la última década se busca alternativas ante combustibles no renovables como los fósiles. Y la disminución de las reservas mundiales de petróleo y carbón. Esta fuente energética puede ser transportada y producida mediante cualquier forma de explotación energética renovable o no. Facilitando la explotación de energía en sitio. En la Figura N°2 ejemplifica este motivo. El hidrógeno como vector energético es un facilitador en la conversión de las energías primarias y su uso en diferentes aplicaciones.
- **Medioambiente.** - su conversión solo libera un producto: agua. A diferencia de los demás combustibles no renovables no desprende CO₂. Si la energía primaria utilizada en la producción de hidrógeno es renovable existe en el sistema cero emisiones. Además, el mercado de hidrógeno impulsará nuevas tecnologías, especialmente, las relacionadas con la ciencia de los materiales, promoverá el crecimiento económico y la descentralización de la generación eléctrica.

Figura N° 2: Fuentes de energía primaria, conversores de energía y aplicaciones



Fuente: (Comisión Europea, 2003)

Tabla N° 3: Densidad energética de varios combustibles

	Densidad (kg/m ³)	ENERGÍA ALMACENADA		
		Volumen (kWh/m ³)	Volumen (kWh/Nm ³)	Masa (kWh/kg)
H ₂ líquido (1 bar; -252,8 °C)	70,71	2375	3	33,59
H ₂ gas (300 bar; 25 °C)	20,55	690		
H ₂ gas (700 bar; 25 °C)	47,96	1611		
Gas natural (1 bar; 25 °C)	0,65	9,1	10	13,93
Butano líquido (25 °C)	550	7000	33	12,73
Gasolina	750	9270	-	12,63

Fuente: (Linares & Moratilla, 2001)

En la Tabla N° 3 se detallan las densidades energéticas de diversos combustibles. Se considera al hidrógeno como un vector energético - portador de energía - supone que se produce a partir de otras fuentes de energía (solar, eólica, nuclear, metano). Almacenando una cierta cantidad de energía.

Además, la Tabla N° 3 manifiesta la capacidad del hidrógeno de acumular 3 veces más energía por unidad de masa que cualquier otro combustible. Sin embargo, el hidrógeno, por ser más ligero; es la menor capacidad posee de almacenar energía por unidad de volumen. Dificultado su distribución y almacenamiento. Esta dificultad puede ser solventada al acoplar un sistema de conversión directo o indirecto – pila de combustible.

Producción de Hidrógeno

“El hidrógeno es un componente muy importante para la industria química, petroquímica y además es un portador de energía muy valorado para su aplicación en las pilas de combustible, representando esta última aplicación un mercado emergente que resulta en un aumento creciente de la demanda de hidrógeno”. (Barreras y Lozano, 2012, p.22)

La producción de hidrógeno ha sido un asunto de gran importancia durante la era industrial. Pero esta aumentado con la llegada de la tecnología de las pilas de combustible que permiten la conversión energética del hidrógeno. El avance en el campo de los materiales y el aumento de la demanda energética impulsa el interés en este vector energético en la actualidad.

La obtención del hidrógeno depende de la energía utilizada en el proceso: Térmico, eléctrico, fotónico.

Procesos Térmicos

Algunos procesos térmicos utilizan la energía de diferentes recursos, tales como gas natural, carbón, o biomasa, para obtener hidrógeno, que es parte de su estructura molecular. En otros procesos, el calor, conjuntamente con ciclos químicos cerrados, produce el hidrógeno a partir de materias de partida tales como el agua, éstos se conocen como procesos "termoquímicos".

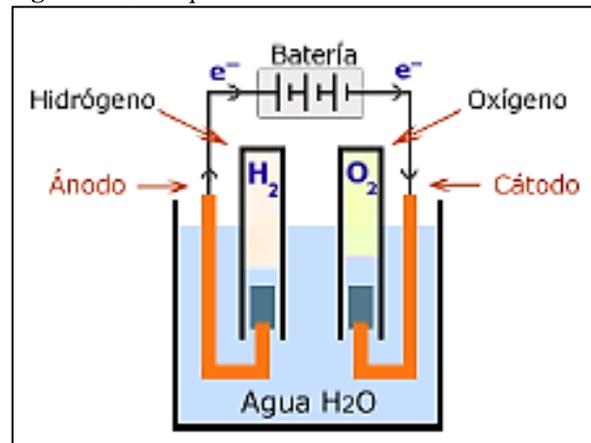
Procesos Fotónicos

Los procesos fotolíticos utilizan energía de baja intensidad para romper la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno. Actualmente están en las primeras etapas de investigación, pero estos procesos ofrecen ventajas a largo plazo para la producción sostenible de hidrógeno con bajo impacto sobre el medio ambiente.

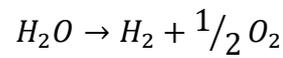
Procesos Eléctricos

Los procesos electrolíticos utilizan electricidad para romper la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno, un proceso que ocurre en un electrolizador. El hidrógeno producido vía electrólisis puede dar lugar a emisiones de gases responsables del efecto invernadero cercanas a cero, dependiendo de la fuente de electricidad usada. Para evaluar las ventajas de la producción de hidrógeno vía electrólisis se debe considerar la fuente de electricidad requerida, incluyendo su coste y eficacia, así como las emisiones que resultan de la generación de esa electricidad. Los dos procesos de electrólisis de mayor interés para la producción a gran escala de hidrógeno, que dan lugar a emisiones de gases responsables del efecto invernadero cercanas a cero, son electrólisis usando fuentes renovables de electricidad y electrólisis de alta temperatura.

En la Figura N° 3 se muestra la electrólisis del agua el cual consiste en la descomposición de agua (H_2O) en los gases oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica a través del agua acidulada.

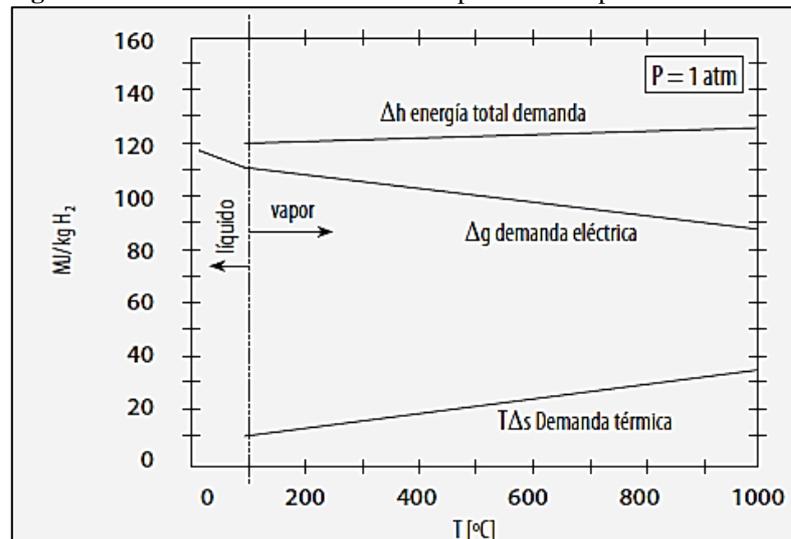
Figura N° 3: Esquema básico de la electrólisis

Fuente: (Aguirre, 2009)



La energía necesaria para disociar 1 mol de agua a 25°C es 237.75 J, produciendo 1 mol del H₂. La capacidad calorífica mínima del hidrógeno es 241.82 kJ/mol necesitan de 237.72 kJ. Esto significa que la ganancia neta de energía es 1.02 kJ de hidrógeno por cada kJ eléctrico. Esto puede aumentar si se produce en condiciones de alta temperatura con vapor de agua a 1000 °C se generan 1.36 kJ de energía neta.

Esto evidencia que la demanda eléctrica necesaria en la producción de la electrólisis se reduce a medida que la temperatura aumenta. Por lo que en la industria es más rentable la electrólisis a altas temperaturas.

Figura N° 4: Demanda eléctrica vs la temperatura de operación

Fuente: (Bermudez, 2007)

Si se considera un proceso de electrolisis a baja temperatura. “La demanda de electricidad es elevada. Iguala a la ganancia calorífica de cada mol de hidrógeno producido” (Linares y Moratilla 2001, p.46). Esto se manifiesta, gráficamente, en la Figura N°4.

Si se utiliza una pila combustible con un rendimiento del 60% la ganancia neta de energía es negativa. Este sistema solo es justificable para aplicaciones aisladas donde no existan otros suministros. Una solución para este tipo de producción es el acoplamiento de las energías renovables como el eólico o solar. Se puede utilizar el potencial eléctrico excedente para la producción de hidrógeno y un posterior consumo del mismo cuando la demanda lo requiera.

Tipos de celdas

Existen básicamente dos tipos de celdas: húmeda y seca. Los electrodos en ambos tipos pueden ser espirales, placas o tubos.

Las celdas húmedas se encuentran sumergidas en una cuba lleno del electrolito. Los electrodos están parcial o totalmente sumergidos. Son de fácil construcción y poseen menos componentes.

Figura N° 5: Celda húmeda (izquierda) y celda seca (derecha)



Fuente: (Holgado, 2012)

La celda seca no contiene un recipiente para sumergir las celdas, la celda en si es el contenedor. La configuración de las placas varía en cada función:



La adición de una placa neutra permite un mejor rendimiento de la calda evitando un excesivo consumo de corriente y permiten la disipación del calor producto de la reacción química.

Electrolito

En si el agua pura no es un conductor de la electricidad. No existen suficientes iones disueltos para permitir la circulación de electrones en la solución. Para ello se recurre a compuestos que introducen iones en la solución. La adición de este químico y la aplicación de la corriente eléctrica permiten las reacciones químicas.

La elección del electrolito adecuado este definido por los subproductos de la reacción química. Por ejemplo, la sal (NaCl) después de la electrolisis produce hipoclorito de sodio (NaOCl) y gases de cloro que se emiten con el hidrógeno. Subproductos dañinos. También se considera la reacción del electrolito con los ánodos y cátodos. Si el electrolito se reduce en el cátodo u oxidado en el ánodo. Reduce la acción de los electrodos en el proceso de electrolisis.

En la Tabla N° 4 se detallan algunos electrolitos utilizados en la producción de hidrógeno en el proceso de electrolisis y sus características de operación.

Tabla N° 4: Electrolitos más usados en la electrólisis

Electrolito	Composición	Aplicación
Sulfato de magnesio	MgSO ₄	Alto/bajo voltaje, bajo amperaje, temperatura alta
Hidróxido de potasio	KOH	Alto/bajo voltaje, bajo amperaje, temperatura baja
Hidróxido de sodio	NaOH	Alto/bajo voltaje, alto amperaje, temperatura media
Sulfato de sodio	Na ₂ SO ₄	Bajo voltaje, bajo amperaje, temperatura media
Ácido sulfúrico diluido	H ₂ SO ₄	Bajo voltaje, medio amperaje, temperatura media

Fuente: (Holgado, 2012)

Electrodos

“Las características de los electrodos es la buena conductividad eléctrica e inerte a la solución ya el proceso de electrolisis, se recomienda el niquel como el mejor material para el proceso” (Holgado, 2012, p. 112). Sin embargo, el costo limita su acceso. El acero niquelado es

tambien una alternativa. En la industria se utiliza el acero inoxidable 316-L. La superficie del electrodo debe reducir al minimo el voltaje.

Consideraciones de diseño

- 1) En la ley de Faraday la cual dice: “La masa de la sustancia producida en un electrolizador mediante electrolisis es directamente proporcional a la electricidad que pasa a traves de la solución” (Cengel y Boles, 2002, p. 322). Es decir, La generación de hidrógeno es proporcional a la corriente. Con una temperatura de 0°C y 1 atm se necesita 1.594 Amperios por cada litro por hora y por celda.
- 2) “Se recomienda una diferencia de voltaje entre las celdas de 1.48 V, más allá de este valor la eficiencia se reduce.” (Linares y Moratilla, 2001). Como se menciona en el parrafo anterior la tensión solo es necesaria para la circulación de la corriente, el voltaje no repercute en el gas producido.
- 3) “También menciona la eficiencia. Esta se mide entre la relación de vatios necesarios para la producción por cada litro por hora de hidrógeno. Los diseños mas eficientes son de la configuración en serie, con un espacio de 3 mm y un amperaje por debajo de 10”. (Linares y Moratilla, 2001)
- 4) El voltaje de cada celda depende de la densidad de corriente. Las celdas con un área pequeña son menos eficientes. Su reducido tamaño requiere de más voltaje para permitir la circulación de más amperios. “Se recomienda 0.01 A/cm². Es decir, un área recomendada de al menos 170 cm² para 20 A (amperios).” (Linares y Moratilla, 2001, p. 56).
- 5) “El mejor material para la construcción de los electrodos es el níquel, pero su limitante es el costo. Otro excelente material es el acero inoxidable 316-L”. (Holgado, 2012, p. 111).

Dentro de la definición de la cantidad de gas (hidrógeno y oxígeno) que un electrolizador puede generar se recurre a calcular la cantidad de culombios en un determinado tiempo lo que nos genera la carga eléctrica necesaria para la reacción:

$$Q = I * t$$

Donde Q es la carga eléctrica, I la corriente y t una diferencia de tiempo.

Con la determinación de la carga eléctrica se define cuantos moles de hidrógeno se pueden desprender de la reacción con aquella intensidad eléctrica.

$$n_{H_2} = \left(\frac{Q}{2F} \right) * 0,05$$

Donde F es la constante de Faraday, en Garcia (2013) utiliza un valor de 96485 C/mol para esta constante.

La producción de gases depende en gran medida de la presión y temperatura ambiente. Ya que está condiciona el volumen de los gases y no su poder calorífico. Se recurre a la ecuación de los gases ideales junto con los datos de operación del electrolizador (presión y temperatura). En Cengel y Boles (20002, p. 139) cita esta ecuación como:

$$v_{H_2} = R * \left(\frac{T}{P} \right)$$

Donde R es la constante de los gases (96485 C/mol), T temperatura en kelvin y P la presión absoluta en atmósferas.

Si se considera que en la reacción se produce dos átomos de hidrógeno por cada uno de oxígeno. Entonces del volumen de hidrógeno dividido para dos tendremos el oxígeno generado.

$$V_{O_2} = \frac{V_{H_2}}{2}$$

Las Pilas de combustible

También llamada celda o stack, por su capacidad de conexión en serie o paralelo, es un dispositivo electroquímico convertidor de energía. Está diseñada para permitir el abastecimiento continuo de reactivos consumidos: hidrógeno y oxígeno. A diferencia de las baterías cuyos reactivos se agotan o degradan con la descarga de la misma. Las emisiones de estos dispositivos son agua y calor.

El término “pila” no tiene relación con las baterías y pilas electroquímicas. Se asocia con el término “Fuel Cell Stack” (Apilamiento de Celdas de Combustibles). Es decir, se hace referencia a la celda elemental o conjunto de celdas.

El principio físico sobre el cual se basan se descubrió en 1839, Sir William Grove demostró que se puede generar electricidad a partir de una reacción electroquímica entre el oxígeno e hidrógeno. Esta nueva tecnología se olvidó en pro de las nuevas máquinas de vapor y motores de combustión interna, los cuales presentaban características para la época más estables. Aunque con un menor rendimiento, la tecnología del motor ya se encontraba desarrollada y la de las pilas de combustible aun en sus comienzos e inestables por las características primitivas de los electrodos utilizados.

En 1969 los programas espaciales de los EEUU: Geminis y Apollo. Desarrollaron las primeras pilas de combustible alcalinas para energizar la electrónica de las naves y proveer agua a la tripulación.

Posteriormente, la crisis de combustibles en los años 70 y la guerra del Golfo. Despertó, en la industria, el interés en nuevas tecnologías que generen alternativas energéticas a los combustibles fósiles. Se impulsó la investigación en energía solar, eólica, geotérmica y biomasa.

Actualmente, se desarrolla tecnología basada en hidrógeno, especialmente en funciones estacionarias de pequeña potencia. Sin embargo, el rendimiento de las pilas de combustible, en comparación a otras tecnologías. Motiva a la industria el desarrollo de pilas de combustible para la generación de alta potencia.

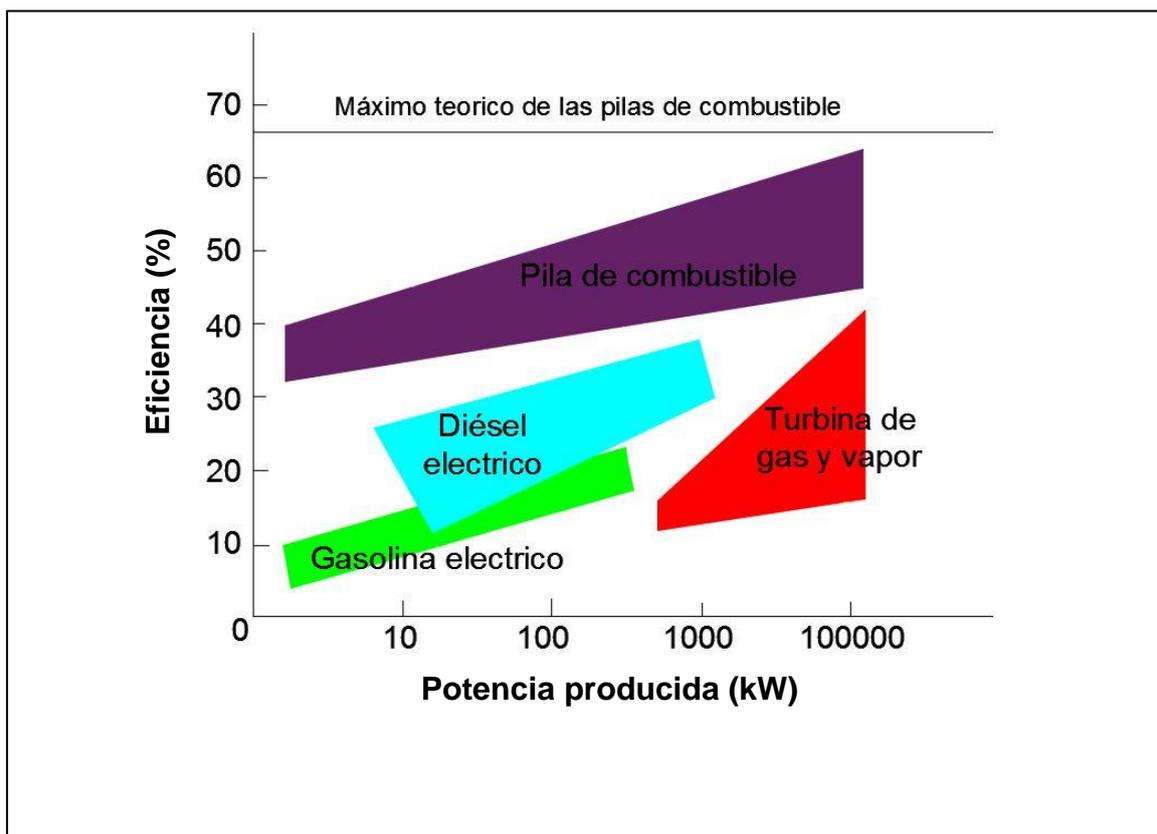
En la Figura N° 6 se desarrolla un esquema donde se define la capacidad y aplicaciones de las pilas de combustible versus otras tecnologías. Donde se interpreta la capacidad de esta tecnología de trabajar con potencia de mili vatios (calculadoras, relojes) a millones de vatios para la electrificación de ciudades. Siempre con un rendimiento mínimo del 32 % y máximo de 62%, su límite teórico.

Funcionamiento

Consiste en una celda electroquímica compuesta por dos electrodos: ánodo y cátodo. Y un electrolito.

El ánodo genera una reacción de oxidación, donde se liberan electrones incapaces de atravesar el electrolito, estos atraviesan un circuito cerrado donde se encuentra la carga que se electrificara. Los iones restantes atraviesan el electrolito hasta el cátodo, donde se genera la reducción. Ganando electrones obtenidos del ánodo se recombinan con los cationes correspondientes. Un compuesto neutro. La naturaleza de este compuesto depende del tipo de pila combustible utilizado.

Figura N° 6: Eficiencia vs. Potencia de varias tecnologías



Fuente: (Bermudez, 2007)

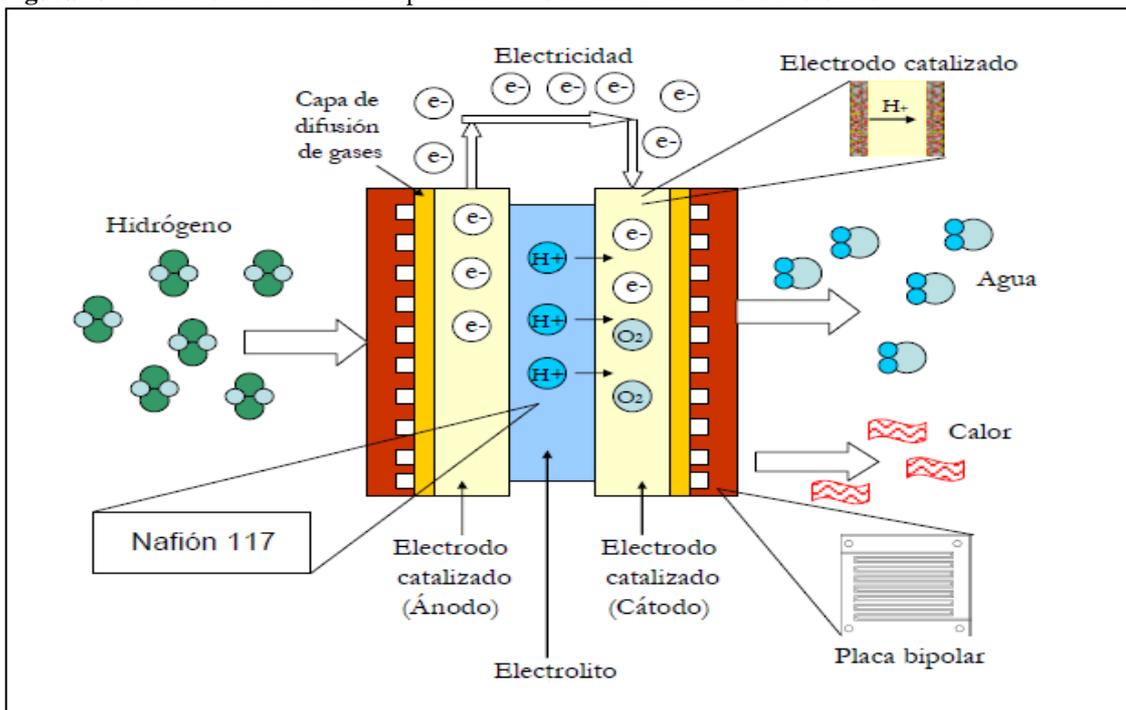
En la Figura N° 7 se describe el funcionamiento de una pila de combustible tipo PEM (Membrana de Intercambio Protónico). Su manera de trabajo es esencialmente lo descrito en los párrafos anteriores:

- 1) Se provee de hidrógeno al ánodo y oxígeno al cátodo.
- 2) Los iones de hidrógeno (H^+) fluyen hacia el cátodo a través de la membrana electrolítica, donde reacciona con el comburente (oxidante) produciendo agua.
- 3) La reacción anódica produce electrones que no logran atravesar la membrana y en lugar de ello circulan un circuito eterno hacia el cátodo donde dan paso a la reacción catódica.

Ventajas

- Su conversión no genera contaminación
- Elevada eficiencia termodinámica, debido a que no cumplen el ciclo de Carnot
- La eficiencia no depende de la temperatura
- Se caracterizan por una alta eficiencia a cargas parciales
- Son dispositivos de estado sólido y su capacidad de reacción es instantáneo a los cambios de la carga
- Requieren menos transformaciones para generar electricidad que las demás tecnologías (Maquinas térmicas)
- No requiere recarga. Solo necesita un suministro continuo de reactivos

Figura N° 7: Funcionamiento de una pila de Membrana de Intercambio Protónico



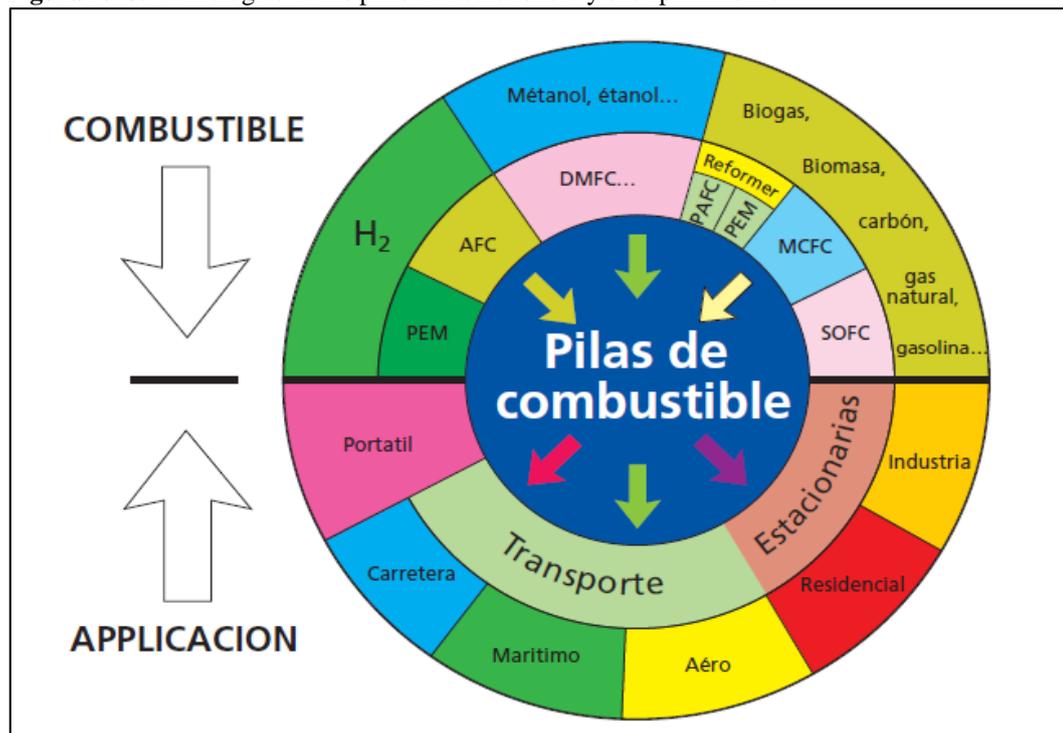
Fuente: (Aguirre, 2009)

Tabla N° 5: Tipos de pilas de combustible y sus características principales.

	PEM / DMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	ZAFC
	Pilas de Intercambio Protónico y pilas de metanol	Pilas Alcalinas	Pilas de ácido fosfórico	Pilas de carbono fundido	Pilas de óxido sólido	Pilas de Zinc-aire
Electrolito	Polímero sólido perflusulfonado	KOH	H ₂ PO ₄	Li ₂ CO ₃ /K ₂ CO ₃ , Na ₂ CO ₃	ZrO ₂ /Y ₂ O ₃	KOH ₂ , LiOH ₂ , NaOH
Electrodos	PVC	Ni, Ag, MeO, Asbesto	PVC, SiC	Ni poroso, NiO poroso, LiAlO ₂	Co-ZrO ₂ /Ni-ZrO ₂	Zn, MnO ₂
T(C°)	0-80	65-220	200	650	600-1000	60
Potencia	0-250 kW	10,100 kW	50 kW - 1MW	1 MW	3 MW	90 W/Kg
Eficiencia %	55-58% transportes, 25-35% estacionario	60	>40	45-47	35-43	-
Aplicaciones	Back up, Transporte, Pequeñas aplicaciones móviles y domésticas	Militar, Aeroespacial	Domesticas	Plantas de generación energética	Plantas de generación energética, Sistemas Auxiliares	Móviles y estacionarias

Fuente: (Aguirre, 2009)

Figura N° 8: Tecnologías de las pilas de combustible y sus aplicaciones



Fuente: (Comisión Europea, 2003)

Desventajas

- Su producción, almacenamiento y transporte son caros y aun no se solucionan tecnológicamente
- La calidad del combustible debe ser alta: no admite azufre, monóxido de carbono u otra impureza producto de su producción
- El agua que emiten puede afectar la pila, provoca fallo.
- Requieren soportes y sistemas de control sofisticados
- Los catalizadores (platino, paladio, rodio) son caros y escasos
- Los depósitos de combustible son voluminosos
- Su relación peso potencia es mayor que las máquinas de combustión interna

En resumen, las ventajas se concentran en el alto rendimiento de las pilas de combustible y su valor al poder almacenar energía en depósitos de gas. Las desventajas se encuentran en la manipulación y operación de la tecnología. Sin embargo, este problema puede solventarse a medida que la tecnología de la ciencia de los materiales avance.

Tipos

La tecnología de las pilas de combustible ha evolucionado a partir de diferentes electrolitos utilizados. Su naturaleza les confiere características de funcionamiento que condicionan su temperatura de operación, los gases reactantes, su construcción, vida útil y aplicación.

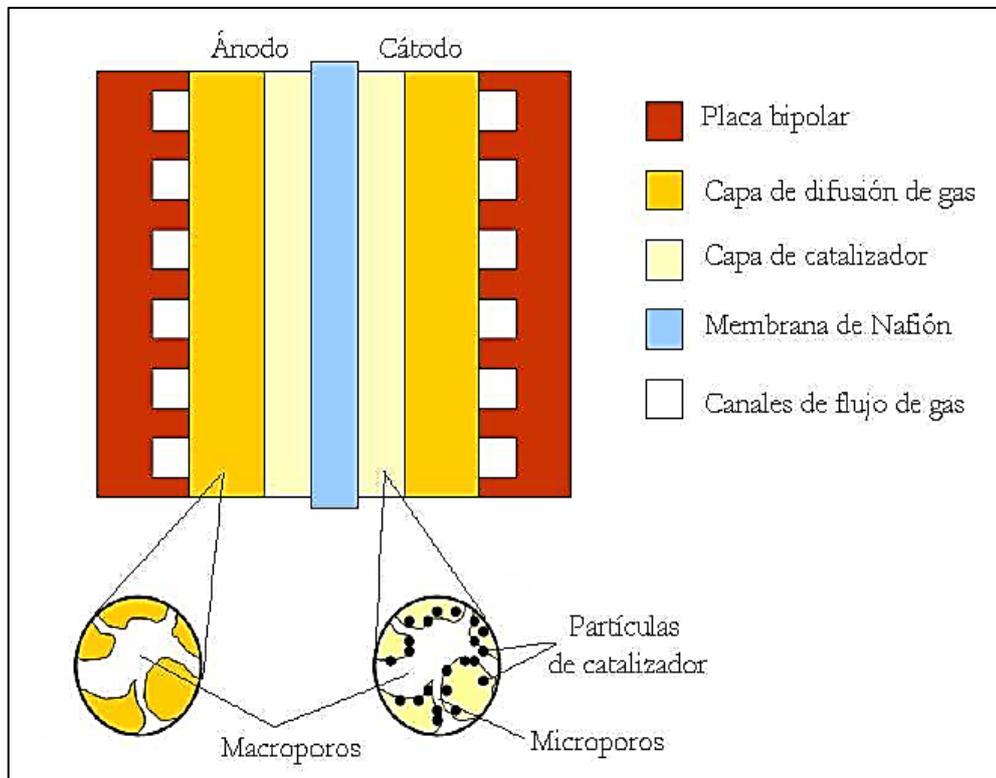
En la Figura N° 8 se desarrolla las diferentes tipos de combustibles el origen de su combustible y sus aplicaciones. Todas estas características definen las consideraciones de selección de una pila de combustible para cada situación.

En la Tabla N° 5 se detallan los diferentes tipos de pilas de combustible disponibles en el mercado. Se identifican características constructivas que definen su aplicación en la industria o en el sector doméstico. La tecnología utilizada en la fabricación de su electrolito y electrodos. Quizás las peculiaridades más relevantes son la potencia, temperatura de trabajo y eficiencia. A mayor potencia mayor resulta su eficiencia. Se deduce que la producción y conversión energética solo es económicamente viable si la tecnología es industrializada.

La Pila de Combustible de Membrana Polimérica (PEM)

Barreras y Lozano (2012) sostienen que la pila más común del mercado es la PEM (membrana de intercambio de protones o poliméricas). Muy utilizadas en aplicaciones móviles de alta eficiencia y temperatura de operación baja. Es el dispositivo más sencillo, esencialmente el ánodo se alimenta de hidrógeno y el cátodo de oxígeno ambiental. Es una celda elemental, compuesta de una lámina de electrolito y dos electrodos, catalizador, placas bipolares y capas de difusión de gases.

Figura N° 9: Elementos constitutivos de una pila tipo PEM

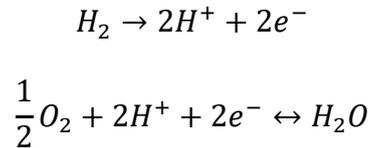


Fuente: (Aguirre, 2009)

Cuando se suministran los reactantes (hidrógeno y oxígeno) a los electrodos (ánodo y cátodo). Ambos gases ingresan por las placas bipolares y se distribuyen por su superficie por las capas de difusión. Al ser el catalizador una estructura porosa, se aumenta la superficie de contacto entre los reactantes. Aumentando la potencia de generación, se disminuye el platino.

Cuando los reactantes atraviesan la capa de difusión, el catalizador (aleaciones de platino) en el caso del ánodo disocia la molécula de hidrógeno en protones y electrones.

Los protones atraviesan la membrana polimérica hasta llegar al cátodo y los electrones recorren un circuito externo electrificando una carga externa. La reacción produce agua. El funcionamiento de la pila PEM se resume en las siguientes reacciones en el ánodo y cátodo respectivamente:



La membrana electrolítica utilizada es el Nafión, fabricado por Dupont, derivado del Teflón. La función que desempeña es convertirse una barrera a los gases reactantes y proporcionar una excelente conductividad iónica.

Actualmente, se buscan materiales alternativos al Nafión debido a su alto coste y evitar el monopolio de Dupont. La membrana debe poseer características como la afinidad a la absorción de agua, conductividad protónica a bajas temperaturas y de ser una barrera física a los gases reactantes, como el óxido de Polietileno y Polietercetonas Sulfonadas (PEEK) pero aun no poseen una conductividad elevada a temperatura baja.

Contaminantes para las pilas PEM

El principal enemigo de los catalizadores de las pilas PEM es el envenenamiento. Durante el reformado de gas natural se producen hidrógeno y monóxido de carbono, el primero se utiliza como reactivo sin embargo en la concentración del gas existe 1%, lo cual provoca una interacción entre en catalizador de platino y en monóxido de carbono el cual ocupa los huecos de la estructura del platino que ocuparía el hidrógeno para la reacción, reduciendo su eficiencia. Por este motivo se recurren a catalizadores platino/ rutenio los cuales resisten el CO de 200 ppm.

Otra contaminante es el azufre, amoniaco, metales alcalinos e hidrocarburos pesados que afectan el rendimiento de los catalizadores. Esto con lleva un riguroso mantenimiento periódico y filtrado en el suministro.

Implementación

Un factor importante es la implementación de la conversión de energía del hidrógeno con una fuente primaria de energía, el cual es solo un vector, un acumulador energético, centralizado o descentralizado. Que poseen ventajas y desventajas productivas y en cada caso su implementación es más sencilla que otros.

Tabla N° 6: Proyección de costes de producción de hidrógeno

Tipo	Origen	Margen de costes de producción (\$/MWh)
Descentralizado	Gas natural	36-54
Descentralizado	Electrólisis	47-90
Centralizado	Carbón	29-36
Centralizado	Nuclear	32-76
Descentralizado y Centralizado	Solar	76-108
Centralizado	Gasificación de la biomasa	47-54
Descentralizado y Centralizado	Eólico	95-120

Fuente: (Linares & Moratilla, 2001)

En cuanto a las energías renovables presenta un gran atractivo debido a la diversidad de fuentes primarias (solar, eólica y biomasa). Hoy la mayor producción de hidrógeno proviene del uso de combustibles fósiles, que a mediano plazo la energía renovable generará la des carbonización de dichos combustibles.

La integración de las energías renovables junto con la producción de hidrógeno, es un proceso sobre el cual el Estado favorece indirectamente a través de políticas que favorecen la generación de energía renovable no convencional. En la Ley de Régimen del Sector Eléctrico artículo 63 y en las regulaciones del CONELEC 004/11 el Estado de manera preferencial despachará toda energía producto de sistemas aislados y de energías renovables no convencionales.

Para lo cual determina una lista de precios favorable para esta industria. Los cuales se detallan en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7: Precios preferentes establecidos por el CONELEC

Energías renovables	Precios cUSD/kWh
Eólicas	9.13
Solar	40.03
Biomasa y biogás < 5 MW	11.05
Biomasa y biogás > 5 MW	9.6
Geotérmicas	13.21
Hidroeléctrica 1 – 10 MW	7.16
Hidroeléctrica 10 – 30 MW	6.88
Hidroeléctrica 30 – 50 MW	6.21

Fuente: (CONELEC, 2011)

En la presente investigación solo se recoge la implementación híbrida de la energía solar e hidrógeno, las demás implementaciones no aportan otros datos significativos para los investigadores.

Utilización de la energía solar como productor de hidrógeno

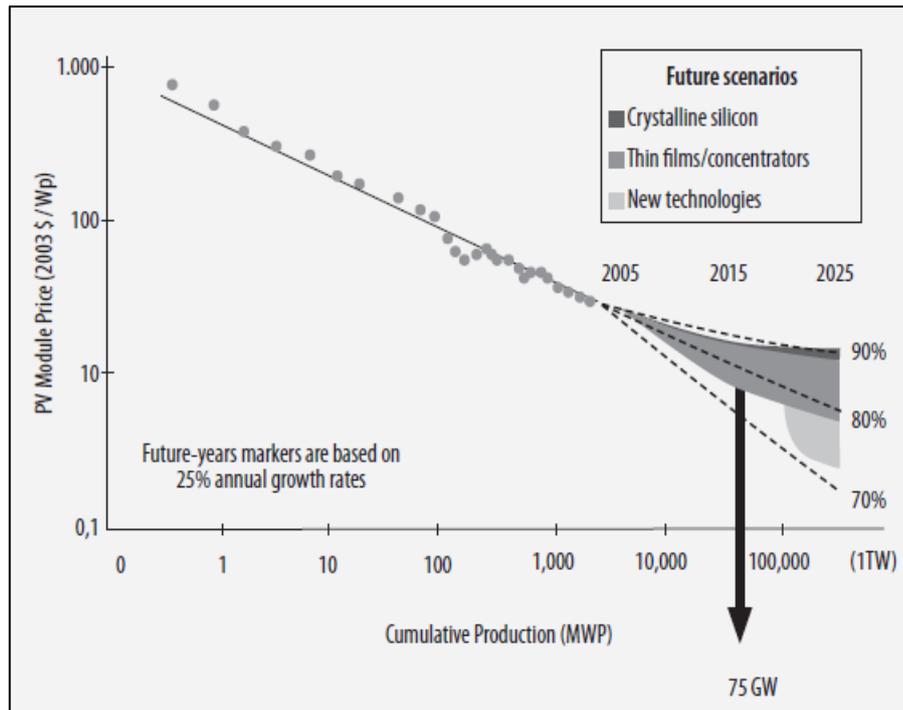
Se pueden utilizar paneles fotovoltaicos para producir electrólisis a baja temperatura. Sin embargo, su alto coste se orienta esta tecnología a aplicaciones aisladas. Esto mientras se reduce los costos de los paneles con el avance de la tecnología como se pronostica en la Figura N° 10.

En la Figura N° 11 se desarrolla la producción de hidrógeno en base a la energía solar. La más sencilla de esta tecnología es la electrolisis. Ya sea la energía primaria producto de paneles solares. Esta tecnología facilita una conversión y, a la vez, un sistema de almacenamiento de la energía solar mientras no exista luz solar. Punto en el cual coincide la máxima demanda. Se deberá prever grandes depósitos de gas para su posterior utilización cuando la lo requiera.

Paneles solares

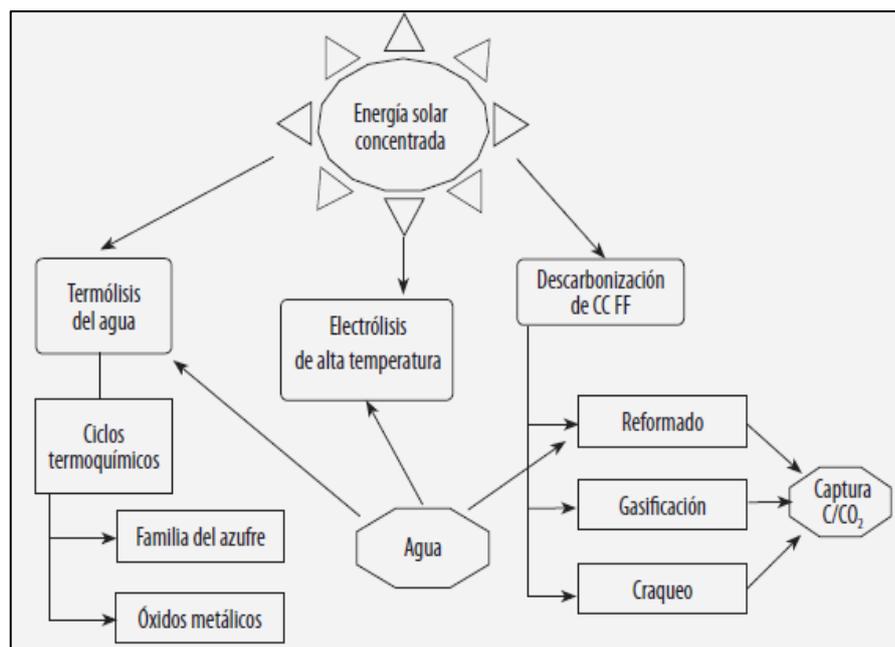
Un módulo fotovoltaico o panel solar (FV) es un grupo de celdas solares independientes conectadas eléctricamente entre sí, que proporciona en su salida de conexión un voltaje continuo (VDC).

Figura N° 10: Evolución de los costes de los paneles solares



Fuente: (Linares & Moratilla, 2001)

Figura N° 11: Producción de hidrógeno basada en la energía solar



Fuente: (Linares & Moratilla, 2001)

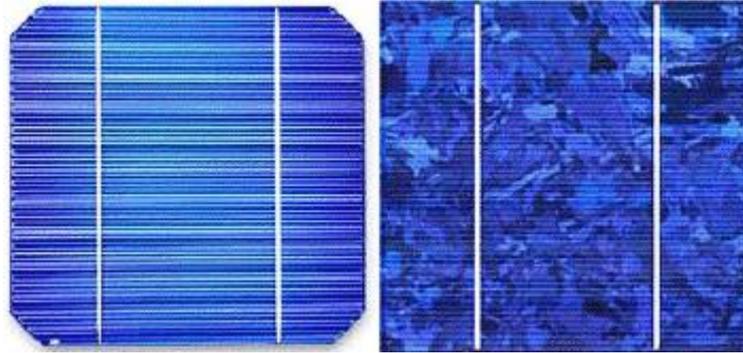
El ciclo de vida del panel solar puede variar entre 25 y 30 años, dependiendo del tipo del panel Fotovoltaico.

Tipos de Paneles Fotovoltaicos

Antes de definir los tipos de paneles fotovoltaicos hay que tomar en cuenta que hay distintos materiales para las celdas fotovoltaicas. Las celdas fotovoltaicas que se ofrecen en el mercado actual utilizan dos tipos de materiales semiconductores, uno tiene una estructura cristalina uniforme, el otro una estructura poli cristalina.

Monocristalino: estas celdas están fabricadas en base a láminas de un único cristal de muy alta pureza y estructura cristalina casi perfecta, el espesor aproximado de las láminas es de 1/3 a 1/2 milímetro, las cuales son cortadas de una gran barra o lingote monocristalino creado a una temperatura cercana a 1400° C, siendo este un proceso muy costoso. La eficiencia de estas celdas ha llegado hasta el 24% en laboratorio y a un 18% en paneles comerciales, los paneles construidos con este tipo de tecnología son los más desarrollados del mercado, siendo garantizados por algunos fabricantes por hasta 25 años.

Policristalino: las láminas policristalinas son fabricadas a través de un proceso de moldeo, para esto se funde el silicio y luego se vierte sobre moldes, una vez que el material se ha secado, se corta en delgadas láminas. El proceso de moldeo es menos costoso de producir que el silicio monocristalino, pero son menos eficientes, debido a que el proceso deja imperfecciones en la superficie de la lámina, la eficiencia de conversión alcanza valores alrededor del 19,8% en laboratorio y de 14% en paneles comerciales. Las características del silicio cristalizado, hacen que los paneles de silicio policristalino posean un grosor considerable, empleando silicio con otros materiales semiconductores, es posible obtener paneles más finos e incluso flexibles.

Figura N° 12: Celda solar monocristalino vs policristalino

Fuente: [http:// ingenieroandreotti.blogspot.mx/2013/01/plan-solar-san-juan-fabricacion-de.html](http://ingenieroandreotti.blogspot.mx/2013/01/plan-solar-san-juan-fabricacion-de.html)

Los dos tipos pueden ser identificados a simple vista, ya que la estructura cristalina provee una superficie de brillo uniforme, mientras que la poli cristalina muestra zonas de brillo diferente. Además de dos tipos de estructura, existen las celdas solares tipo amorfo y celdas solares tipo micro cristalino o nano cristalino.

Las celdas solares tipo amorfo tienen un arreglo menos regular de los átomos, que dan lugar a enlaces colgantes y varias lagunas donde la recombinación puede tener lugar. El silicio puede ser fabricado en cualquier forma o tamaño y puede ser producido, en teoría, a precios muy bajos, estos fueron el primer tipo de células de energía solar que se utilizaron en la aplicación de productos de consumo, como relojes, calculadoras y otras aplicaciones no críticas y al aire libre.

Figura N° 13: Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación

Silicio	Rendimiento en laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
Monocristalino	24%	15-18%	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre si	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro
Policristalino	19-20%	12-14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización
Amorfo	16%	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico

Fuente: (Obrero, 2011)

Las celdas solares tipo micro cristalino o nano cristalino, mejor conocidos como paneles de película fina de energía solar también son una categoría de las células fotovoltaicas, este concepto es una extensión de la idea detrás de silicio amorfo sin embargo en lugar de utilizar silicio de la industria en este caso se usan otros elementos, el más eficiente de los cuales es de arseniuro de galio de película fina. Estos tipos de células solares requieren menos materia prima que implicaría que el costo de las materias primas debe ser inferior. Sin embargo, debido al alto grado de manipulación y los costos de transformación de tales células delgadas, combinadas con la mayor eficiencia, hace que sea muy difícil juzgar si vale la pena su precio.

Si se habla de eficiencia en lo que respecta a paneles solares, el monocristalino tiene una ventaja mayor porque tiene un porcentaje de entre el 12% al 15% de eficiencia. Mientras que el policristalino mantiene una eficiencia del 11% a 14%, en tanto el amorfo siendo el más económico lleva un porcentaje de eficiencia del 6% al 7%.

Baterías

Una batería es esencialmente un recipiente lleno de químicos que producen electrones, las reacciones químicas son capaces de producir electrones y este fenómeno es llamado reacción electroquímica. En los llamados sistemas solares autónomos o sistemas fotovoltaicos domiciliarios (SFD), las baterías almacenan electricidad que será utilizada durante la noche. Así mismo, suministran electricidad durante periodos de escasez o ausencia de luz solar, necesaria para que el panel solar produzca energía.

La duración del periodo que puede ser cubierto está determinada por la demanda de electricidad y el tamaño de la batería de almacenamiento, están disponibles en diversas formas y tamaños, las de 12V son las más utilizadas. Si las baterías son nuevas y son del mismo tipo y tamaño, pueden ser conectadas para incrementar la capacidad del almacenamiento de batería.

Funcionamiento

Si se examina una batería, esta tiene dos terminales, un terminal está marcado (+) positivo mientras la otra está marcada (-) negativo.

“Si se conecta un cable entre las terminales positivas y negativas los electrones pasarán de la terminal negativa a la positiva. Esta afirmación es el sentido real de la corriente eléctrica”. (Purcell, 1988, p. 141). Esta aseveración no contradice lo establecido en la bibliografía científica que establece el flujo de corriente de positivo a negativo. Ya que inicialmente el flujo de electrones se inicia en el polo positivo donde el electrón más cercano es atraído por este polo produciendo un hueco que es ocupado por otro electrón desencadenando el flujo de electrones hasta el polo negativo. La continua intermitencia entre la carga y descarga provocan el sobrecalentamiento de la reacción química dentro del dispositivo. Las baterías de gel permiten una solución a este problema ya que utilizan compuestos que toleran este fenómeno.

En la Figura N° 7 se detallan las características de las diferentes baterías disponibles. La característica sobresale sobre las demás, es la auto descarga y el número de ciclo. En los sistemas fotovoltaicos estos datos deben ser los más elevados posibles para evitar el sobrecalentamiento del artefacto.

Una auto descarga elevada permite operar el sistema aun cuando no exista radiación solar. El número de ciclos favorece la acción de discontinua de la carga del panel fotovoltaico y la variabilidad de la energía que el dispositivo provee a la batería.

Tabla N° 8: Tipos de baterías con sus respectivas características

Tipo de batería	Tensión por celda (V)	Tiempo de recarga	Auto descarga por mes	N° de ciclos	Capacidad (por tamaño) Wh/kg	Precio
Plomo-acido	2	8-16 horas	<5%	Medio	30-50	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20%	Elevado	50-80	Medio
Ni-Mh (níquel-metal hydride)	1,2	2-4 horas	20%	Medio	60-120	Medio
Li ion (ion Litio)	3,6	2-4 horas	6%	Medio-bajo	110-160	Alto

Fuente: (Obrero, 2011)

9. HIPÓTESIS

¿Si se construye un catalizador electrolítico de obtención de hidrógeno permitirá generar energía eléctrica mediante un sistema pila combustible?

Variable Independiente

Construcción de un catalizador electrolítico de obtención de hidrógeno.

Variable Dependiente

Generación de energía eléctrica mediante un sistema pila combustible.

Tabla N° 9: Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicador	Técnicas e Instrumentos
Variable Independiente: Construcción de un catalizador electrolítico de obtención de hidrógeno	Hidrógeno	Selección del tipo de catalizador	Técnica: investigación y observación, Experimentación Instrumento: Cuaderno de notas
	Producción de hidrógeno	Calculo teórico de la producción de hidrógeno	
	Proceso electrolítico: tipos y consideraciones de diseño	Determinación de los lineamientos iniciales de construcción	
		Dimensionamiento de los componentes del catalizador	
Variable Dependiente: Generación de energía eléctrica mediante un sistema pila combustible	Pilas de combustible	Selección de la pila de combustible adecuada	Técnica: Experimentación Instrumento: Multímetro
	Ventajas y desventajas	Implementación de la tecnología de conversión de hidrógeno-electricidad	
	Tipos		
	Implementación de la tecnología: Energía Solar	Dimensionamiento de la fuente primaria de energía de acuerdo a la potencia requerida	

Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

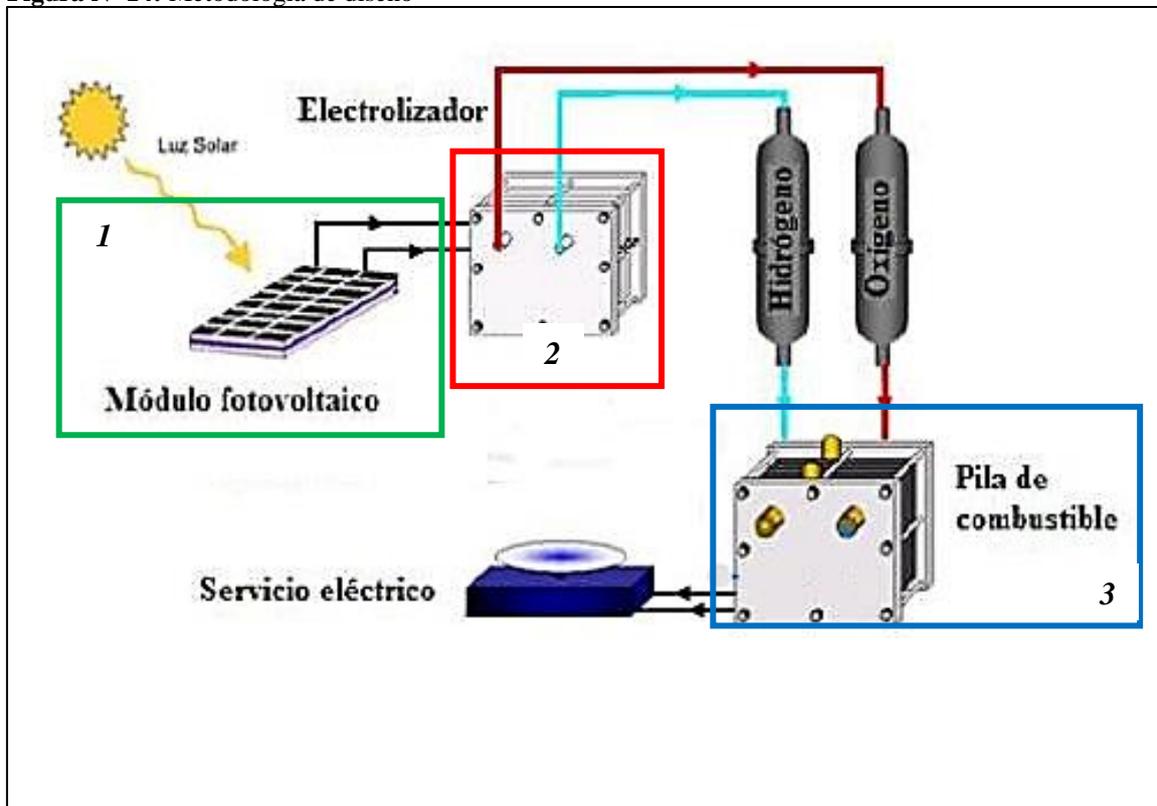
10. METODOLOGÍAS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Métodos

En el presente proyecto de investigación se ha aplicado el método científico experimental el cual aplica métodos definitorios y clasificatorios, métodos estadísticos, procedimientos de medición, entre otros.

Se ha utilizado también el método hipotético-deductivo que consistió en primera instancia el de obtener energía eléctrica a través del hidrógeno para ser almacenada en una pila de combustible, debido a ello se creó una hipótesis para construir un catalizador electrolítico, con ello se llegó a la deducción de las consecuencias si se procediera a la instalación de un módulo como posible solución del problema, luego de ello se teorizó las efectos fundamentales planteadas en la hipótesis y se logró verificar la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia obtenida.

Figura N° 14: Metodología de diseño



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

La metodología de diseño se describe en la Figura N° 14 la cual consiste en tres pasos:

- 1) Determinación de la energía solar disponible: selección y dimensionamiento de los componentes del sistema de fotovoltaico.
- 2) Dimensionamiento y construcción de un catalizador electrolítico: cálculos y selección de materiales para la elaboración del dispositivo. Y determinación, teórica, del gas hidrógeno producido
- 3) Implementación de una pila de combustible: selección del dispositivo adecuado para el sistema híbrido solar – hidrógeno.

Los detalles de estos pasos se describen en el punto de selección de los componentes del sistema.

Técnicas

Como principal técnica se utilizó la observación científica con lo cual se determinaron los parámetros técnicos del módulo, esta técnica se utilizó a la par con la técnica de medición para calcular el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, catalizador electrolítico y la selección técnica de la pila de combustible.

Instrumentos

Se utilizaron instrumentos técnicos de medición como son: voltímetro y amperímetro que nos permitieron medir el voltaje generado en la pila de combustible con respecto al volumen de gas generado por el catalizador en un período de 5 días, para garantizar la veracidad de los datos y métodos estadísticos, se registró todos los eventos y valores obtenidos en cuadros estadísticos que nos permitieron obtener curvas de cada uno de los parámetros, voltaje-intensidad, potencia-caudal, litros de hidrógeno-temperatura por cada placa.

Selección de los componentes del sistema

Sistema fotovoltaico

Se consideraron los siguientes parámetros iniciales:

- **Voltaje de operación.** – en el mercado nacional los paneles solares funcionan en un rango de voltajes de 5 Vcd, 7 Vcd y 12 Vcd. La interconexión de varios paneles en paralelo, serie o una combinación, permite obtener diferentes voltajes. Para simplificar la implementación se optó por utilizar un solo panel con un voltaje de trabajo de 12 Vcd. Sin considerar la tensión de servicio del inversor.
- **Corriente de operación.** - no existe una carga de consumo preestablecida en el diseño. Se optó por 1 A como un valor adecuado para que el catalizador trabaje. No es excesivo en caso de algún desperfecto eléctrico y cumple con el objetivo del proyecto.
- Con factor de utilización de 0.6 y un trabajo de 6 horas diarias se define la energía necesaria de 53.2 W/hora/día.
- Se consideró un factor de seguridad de 1.2. Esto debido a posibles imperfecciones en la construcción del catalizador electrolítico. Y permitir un margen de error. Entonces el valor de la energía necesaria fue 51.84 W/hora/día.

En la ciudad de Latacunga la energía que irradia el Sol en promedio anualmente es 2.4 kW/m²/día. En la Tabla N° 11 se define las características eléctricas del sistema fotovoltaico. En base a los datos antes expuestos se procede a la selección de los componentes.

Tabla N° 10: Características del sistema fotovoltaico

Indicador	Valor	Unidad
Carga diaria	18	W
Energía	51,84	W/hora/día
Tensión de trabajo	12	Voltios
Carga diaria Icc	4,32	Ah
Factor de seguridad	1,2	
Carga corriente corregida	5,184	Ah
Insolación difusa anual	2,4	kW/m ² /día
Corriente pico del sistema	2,16	A

Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

Componentes

Se selecciona un panel fotovoltaico policristalino marca Enercity de 50 W que abaste 2.7 veces al catalizador. En la Tabla N°14 se describen sus principales características.

Tabla N° 11: Características del Panel solar Enercity 50C

Indicador	Valor	Unidad
Potencia	50	W
Voltaje pico	22	V
Tensión de trabajo	17.5	Vcd
Intensidad pico	2.86	A
Tolerancia	+3%	
Dimensiones	540*670*30	mm
Eficiencia	14%	

Fuente: (Enercity, 2008)

Para la elección de la batería se define la capacidad y la reserva. Mediante el cálculo y las características iniciales del sistema fotovoltaico. Y tomando como tentativa una batería Enercity cell de 55 Ah. Los resultados se presentan en la Tabla N°12. Podemos deducir que la batería tendrá una reserva de energía de 6 días. Ideal para el laboratorio de Electromecánica en caso de no existir la posibilidad de cargar la batería con el panel solar.

Tabla N° 12: Características requeridas de la batería

Dimensionamiento		
Corriente de trabajo	5,184	Ah
Capacidad corregida	8,64	Ah
Días de reserva	6,365	Días
Número de baterías	1	

Fuente: (Enercity, 2008)

La capacidad del inversor se define por la potencia de trabajo (18 W) y se seleccionó un Inversor marca Enercity cuya potencia de operación es de 500 W suficiente para para abastecer el catalizador electrolítico.

El Regulador de carga se define por la corriente pico del sistema 2.16 A. se eligió un controlador marca Enercity.

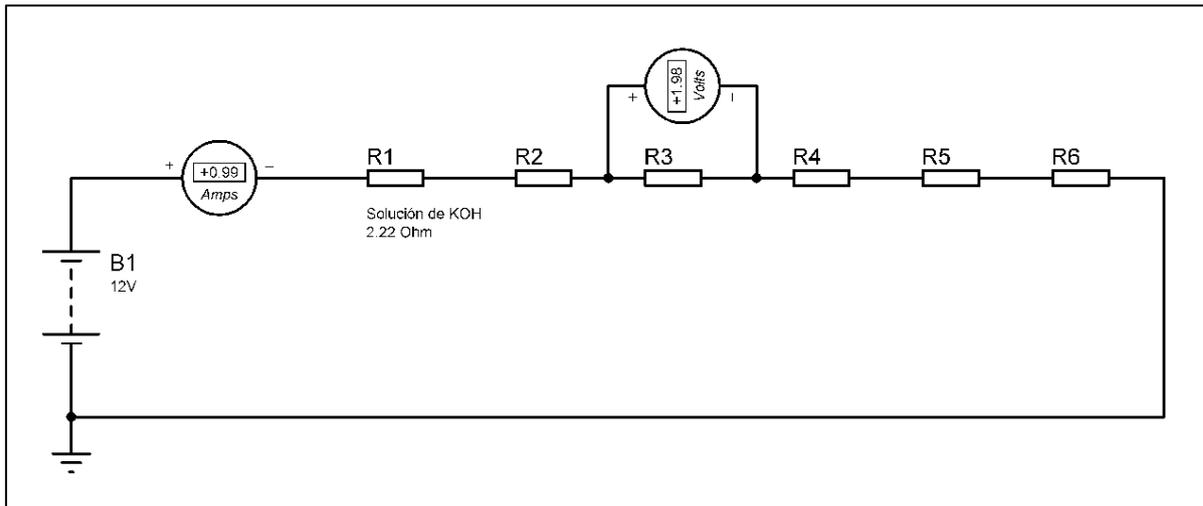
Catalizador electrolítico

Se construyó un prototipo en el cual se definieron los siguientes parámetros de diseño:

- **Voltaje de operación.** - Como el sistema utiliza la tensión proveniente de un panel fotovoltaico comercial. Se considera un voltaje de trabajo de 12 Vcd. Sin considerar la tensión de servicio del inversor.
- **Conexión eléctrica.** – los electrodos pueden ser conectados en serie o en paralelo con la solución electrolítica. En base a lo mencionado en Linares y Moratilla (2001, p. 56) se selecciona una configuración en serie con un espacio, entre placa y placa, de 3 mm. Ya que el catalizador trabajará con una corriente menor de 10 A.
- **Solución electrolítica.** - Se usará como electrolito agua desmineralizada junto con el hidróxido de potasio (KOH). El cual según la Tabla N° 4 es el adecuado para nuestra aplicación. Baja corriente y baja temperatura.
- **Material de los electrodos.** - En la investigación de Holgado (2012, p. 111), se siguió el acero inoxidable 316-L como la mejor opción para los electrodos su capacidad conductiva y su bajo costo. Lo hacen asequible para el proyecto a comparación del níquel.
- **Dimensiones de los electrodos.** – Para definir las dimensiones de los electrodos tomamos como punto de partida la recomendación de Linares & Moratilla (2001, p. 56) una densidad de corriente de 0.1 A/cm^2 . Es decir, que el electrodo deberá conducir una amperio de electricidad entre la solución a razón de 0.01 A/cm^2 . Obtenemos como superficie del electrodo de 81 cm^2 (9 x 9 cm) con una densidad de corriente de 0.0123 A/cm^2 .
- **Número de electrodos.** – “la diferencia de tensión entre las celdas debe procurarse conservar en 1.48 V” (Linares & Moratilla 2001) este valor mantiene la eficiencia del sistema. Si consideramos una configuración en serie de los electrodos. Una caída de

voltaje entre 1.5 y 2 V. Y despreciamos la conductividad eléctrica del acero inoxidable 316-L y los conductores eléctricos. Solo nos queda la resistencia eléctrica de la solución. En Linares & Moratilla (2001, p. 56) se obtuvieron datos sobre la solución de hidróxido de potasio al 28 % de 2.22Ω . Teniendo en cuenta el voltaje e intensidad eléctrica de operación antes previstos. Se necesitaron 7 placas de acero inoxidable. Como se detalla en la Figura N° 15:

Figura N° 15: Diferencia de tensión entre las celdas



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A. elaborado en el software Proteus profesional

Con los parámetros eléctricos básicos y las características de los electrodos procedemos a la construcción del catalizador.

Placas internas

Este tipo de generador de hidrógeno de celda seca; está compuesta por 7 placas de acero inoxidable de 120x120 mm constituyendo ánodos, cátodos y neutras separadas entre ellas de empaques de caucho termo dilatables debido a sus propiedades elásticas, condición de hermeticidad y fácil proceso de manufactura. Se mencionó con anterioridad una superficie de 81 cm^2 (9 x 9 cm), sin embargo, esta es la superficie por la cual la solución electrolítica tiene contacto con la placa. Sin considerar aquellas superficies que no están en contacto con la solución como los empaques de caucho.

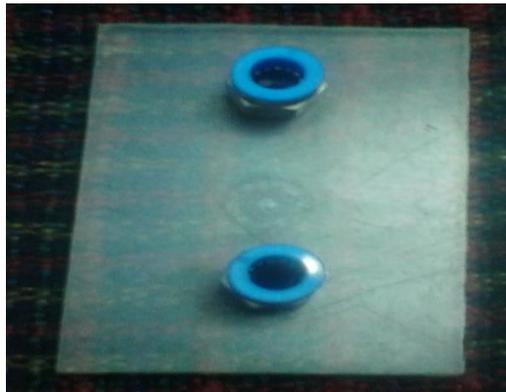
Figura N° 16: Placas de acero inoxidable



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

En los extremos tenemos planchas de revestimiento de acrílico con resina acrílica polimerizada con dimensiones de 120x120mm impidiendo el paso de flujo de corriente.

Figura N° 17: Plancha de revestimiento de acrílico



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

Los electrodos, son de material conductor; el mejor sería el platino o níquel, pero por su elevado costo en el mercado es difícil de obtener. El acero inoxidable 316-L por su bajo coste y propiedades un buen candidato a usar.

Sujeción de placas

Para la sujeción de las placas se utilizaron pernos y tuercas de acero inoxidable cada una de estas placas tienen una separación de 3mm entre placa y placa y el espesor de cada una de ellas es de 3 mm con perforaciones internas que permiten el flujo de agua y circulación de los gases por las cañerías.

Figura N° 18: Sujeción de placas pernos y tuercas de acero



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

Resina acrílica de alta dureza

El conjunto armado se recubre con resina acrílica de alta dureza, debido a su resistencia a la acción del fuego y sus propiedades como aislante eléctrico por tener estas características se consigue un conjunto sólido.

En primer lugar, construimos una caja en cuyo interior se aloja el conjunto de celdas. A continuación, verificamos que las celdas se encuentren correctamente centradas en el interior de la caja, con las debidas precauciones procedemos a colocar la resina sintética que se encuentra en estado líquido, cubriendo el conjunto de celdas en su totalidad.

Figura N° 19: Recubrimiento con resina acrílica



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

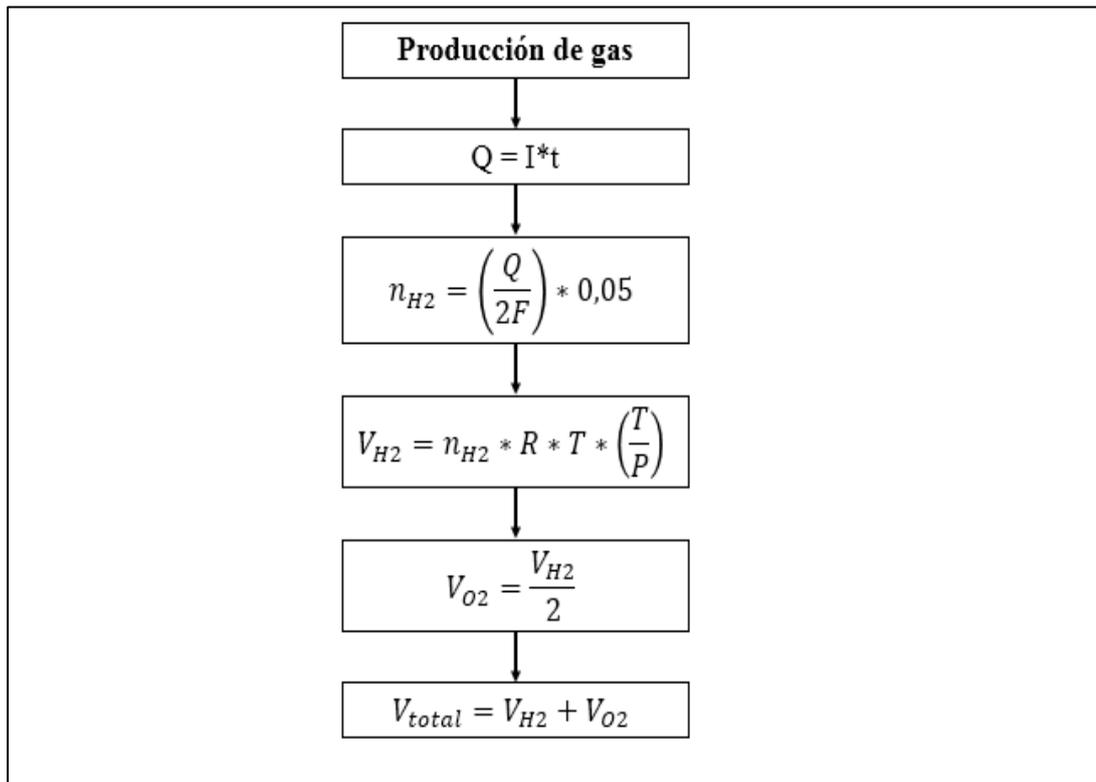
Producción de gas.

Se consideran los siguientes lineamientos:

- El gas que se generara se va a calcular en el lapso de 1min (60 segundos).
- La intensidad de corriente va estar alrededor de 1 A.
- Las condiciones de presión de la atmósfera en la ciudad de Latacunga es 0,723227239 atm (1atm) y a una temperatura anual promedio de según INAMHI (2016) 14.4°C (p. 18), condiciones a la que trabaja el generador.
- Además, se considerará una solución 28% de KOH.

Así utilizamos el siguiente algoritmo (Figura N° 20) producto de las Ecuaciones N° 2 hasta 5.

Figura N° 20: Algoritmo para el cálculo de la producción de gas



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

En la Tabla N° 13 se representa la producción de gas en función de la temperatura. En la ciudad de Latacunga la temperatura ambiental oscila entre los 0° C y 30 °C. Se visualiza que la producción del volumen de hidrógeno depende de la temperatura y la presión. Sin embargo, el poder calorífico del gas se mantiene constante.

Tabla N° 13: Resultados de la producción de gas

Indicador	Valor	Unidad
Intensidad	1,16	A
Voltaje	12	Vcd
Tiempo	60	s
Electrolito	KOH	
Presión	0,88605971	atm
Temperatura	18	°C
	291	K
Constante de Faraday	96500	
Q	69,6	C
MolesH ₂	119,0552991	moles
Hidrógeno	0,119055299	lt/min
Oxígeno	0,05952765	lt/min
Total	0,178582949	lt/min

Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

Características eléctricas

Se realizó un diseño de 7 placas de acero inoxidable de 120 * 120 mm y 3 mm de espesor, esto hace que el voltaje de la celda sea de 1,85 – 2,5 V permitiendo así que las celdas funciones más cerca de su tensión óptima. Si se aplica un voltaje de 12 V. Analizamos la configuración más eficiente: serie. Obtenemos:

Tabla N° 14: Resultados obtenidos de la configuración en serie

	Intensidad (A)	Voltaje (Vcd)	Watts	Volumen H₂ (lt/min)	Volumen O₂ (lt/min)	Volumen de gas (lt/min)
Celda	1,160	2,380	2,761	0,1190553	0,06	0,179
Total	1,160	11,900	13,804	0,714	0,357	1.071

Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

Tabla N° 15: Volumen de gas generado en un segundo

	Volumen H₂	Volumen O₂	Gas generado
Litros	0,011906	0,005953	0,017858
Mililitros	11.90553	5.952765	17.85829

Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

En base a los resultados calculados y representados en las Tabla N° 14 y Tabla N° 15 se presentan el volumen de gas generado, teóricamente, con una eficiencia del 100%. Hay que recordar que el volumen depende de la presión y la temperatura en la cual se produce el proceso electrolítico.

Pila de combustible

La selección de la pila de combustible se lo realiza analizando los parámetros establecidos en la Tabla N° 5. La pila tipo PEM (Membrana de intercambio protónico) es la más adecuada. La temperatura de trabajo se ajusta valores menores de 80 °C. La potencia del suministro por debajo de los 250 kW para aplicaciones móviles y pequeñas. La eficiencia es una desventaja (25-35%). Sin embargo, la investigación no pretende alimentar una carga específica.

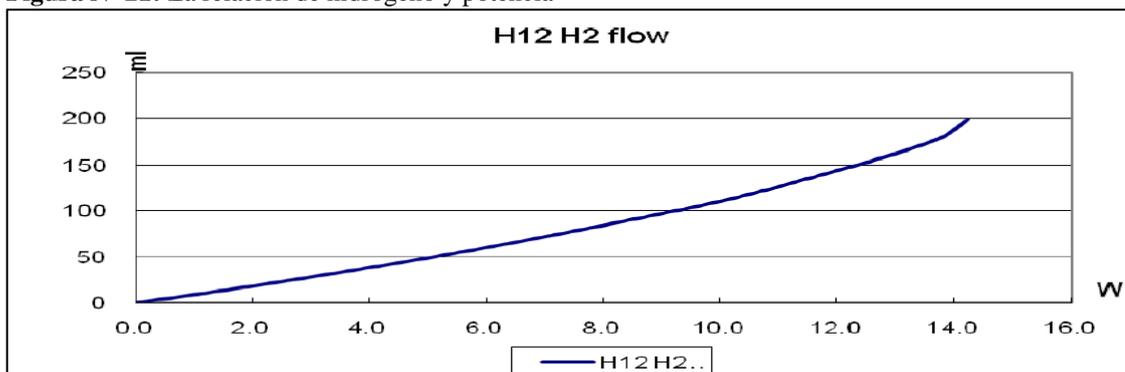
Se seleccionó una pila de combustible marca Horizon Cell H-12 de 12 W tipo PEM. La descripción de sus principales características se detalla en la Tabla N° 16.

Tabla N° 16: Características de la Pila tipo PEM Horizon Cell H-12

Número de celdas	13
Características promedio	7.8 V y 1.5 A
Reactantes	Hidrógeno y aire
Temperatura de operación	5-30 °C
Máxima temperatura	55 °C
Presión	0.45-0.55 Bar
Eficiencia	40 % a máxima potencia

Fuente: (Horizon Inc., 2008)

Figura N° 21: La relación de hidrógeno y potencia



Fuente: (Horizon Inc., 2008)

En la Figura N° 21 se grafica la relación entre el volumen de hidrógeno y la potencia esperada de la pila de combustible PEM Horizon H-12. Donde se provee un aumento proporcional de la potencia en función del reactante. El dispositivo debe ser alimentado con hidrógeno con una pureza de 99.995%, es un dispositivo de estado sólido.

Provisto con un ventilador para la refrigeración por acción de la reacción electroquímica de la membrana de intercambio protónico.

Implementación de los componentes

Para cumplir con los objetivos del proyecto es necesario acoplar, ya dimensionado y construidos, los componentes del sistema. En un módulo que permita la elaboración de las diferentes prácticas de laboratorio (Anexos N° 7 hasta 11), la obtención de los datos experimentales y verificación de la hipótesis. Se diseñó un módulo (Anexo N° 13) donde se detalla la ubicación de los diferentes elementos:

- **Módulo.** -Consta de 6 paneles MDF y una estructura compuesta de tubos estructurales cuadrados de acero ASTM A36 cuyas dimensiones se detallan en el Anexo N° 14.
- **Catalizador electrolítico.** – las dimensiones de cada celda, cada burbujeador, número de conexiones neumáticas y demás le elementos necesarios para su funcionamiento se detallan en el Anexo N° 15.
- **Sistema eléctrico.** – Se prevé un sistema de conexión y desconexión mediante conectores rápidos (jacks macho y hembra) que permitan la interconexión de los diferentes componentes y recolección de datos eléctricos. El esquema general de conexiones se detalla en el Anexo N° 16.
- **Sistema fotovoltaico.** - Consta de un panel solar policristalino de 50 W el cual está soportado en una estructura compuesta de acero. La dimensión del dispositivo se detalla en el Anexo N° 17. El controlador de carga opera con una intensidad 10 A y una batería de gel de 55 Ah. Los cuales están ubicados como lo indica en el Anexo N° 13.

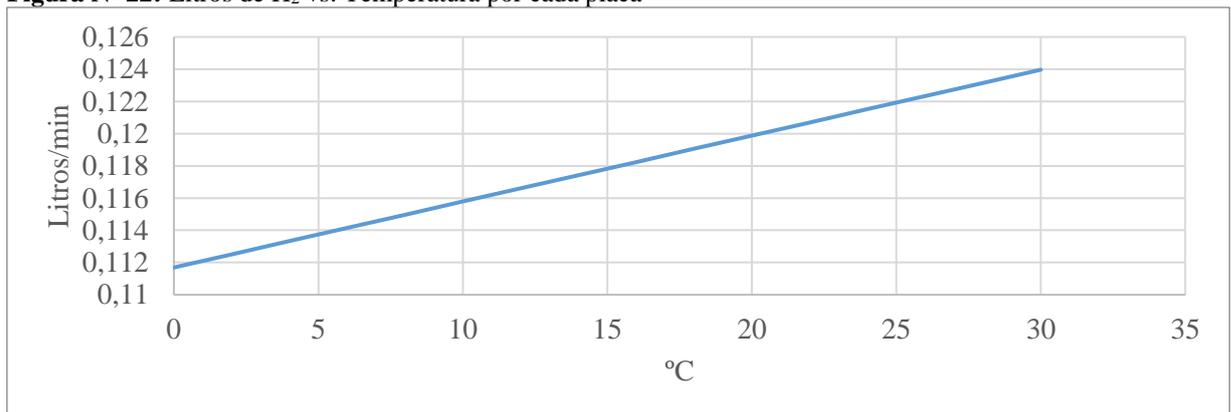
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Resultados obtenidos

Se modela la producción del catalizador en función de la temperatura, en base al algoritmo presentado en la Figura N° 20: en la Figura N° 22 la generación de una celda y en la Figura N° 23 sobre la totalidad del catalizador.

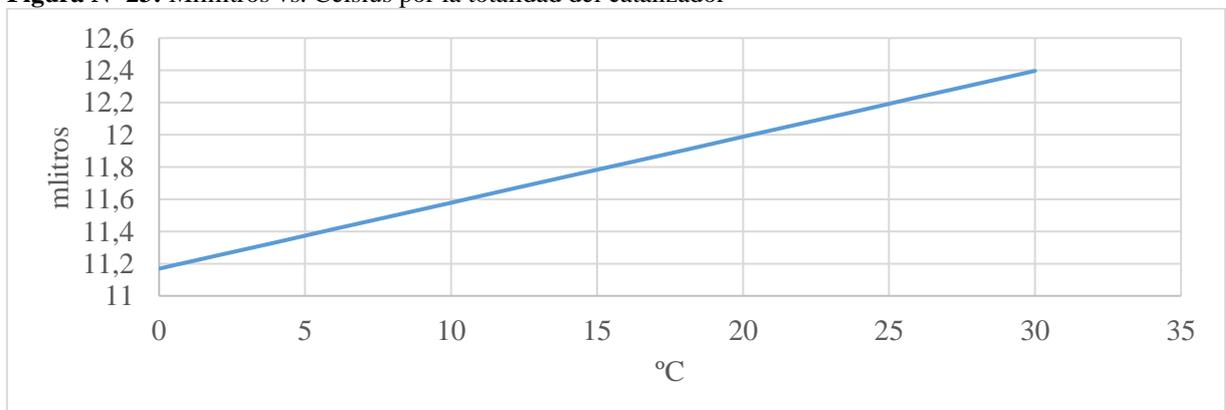
En la Figura N° 22 se observa una producción de 0.112 lt/min a los 0 °C con un crecimiento lineal a medida que la temperatura aumenta. Llegando en este caso a un caudal de 0.123 lt/min a 30 °C. En la Figura N° 23 se describe el mismo comportamiento: un aumento lineal en la producción de gas desde 11 ml/s a 0 °C hasta 12.39 ml/s a 30 °C.

Figura N° 22: Litros de H₂ vs. Temperatura por cada placa



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A. elaborado en el software Excel 2016

Figura N° 23: Mililitros vs. Celsius por la totalidad del catalizador



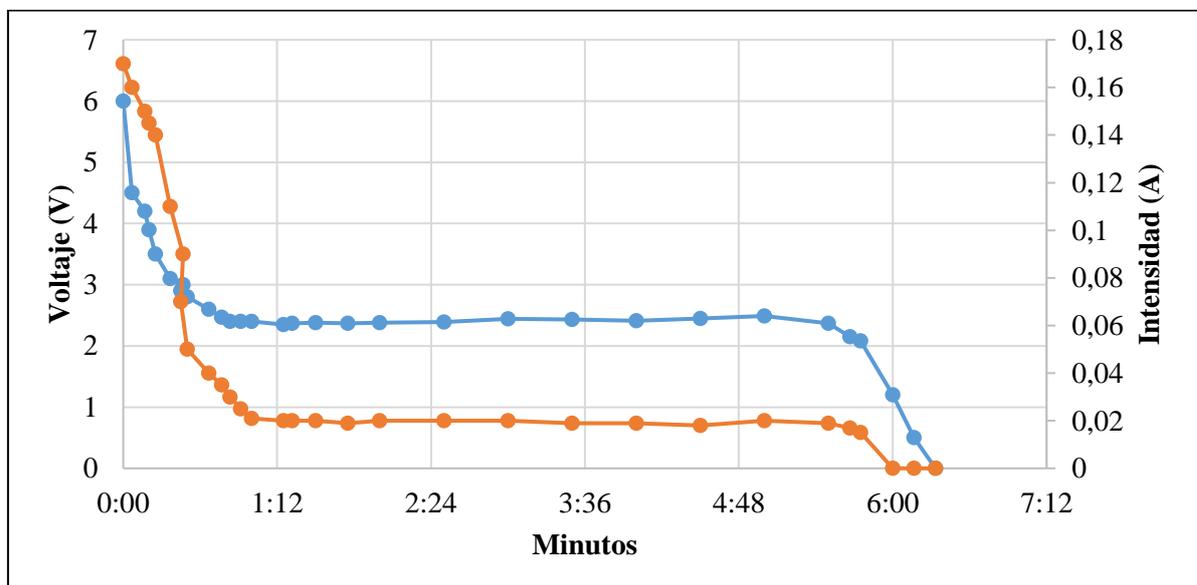
Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A. elaborado en el software Excel 2016.

Como se mencionó en la fundamentación teórica la presión y la temperatura influyen en el volumen del gas. Sin embargo, el poder calorífico es constante y es independiente del volumen. Por este motivo este factor debe considerarse si se implementaría un proyecto similar con mayores dimensiones ya que el volumen de gas generado puede exceder las expectativas de diseño en un aumento del 10%.

Por este motivo se recurre en la medición de los parámetros básicos sobre la pila de combustible. El contraste de los resultados obtenidos y su comparación con las curvas características de la pila de combustible tipo PEM proporcionadas por el fabricante Horizon Cell Inc. – observar el Anexo N° 5 -; permitirá tabular la potencia generada con una eficiencia del 40%.

La metodología consiste en recoger los datos con un amperímetro y un voltímetro en un periodo de 7 minutos. Con el catalizador previamente encendido. En el minuto 5, se apaga el electrolizador. Posteriormente, se tabularán los resultados en una gráfica de dispersión construida en el software Excel 2015 para su interpretación y análisis.

Figura N° 24: Resultados obtenidos sobre Voltaje e Intensidad

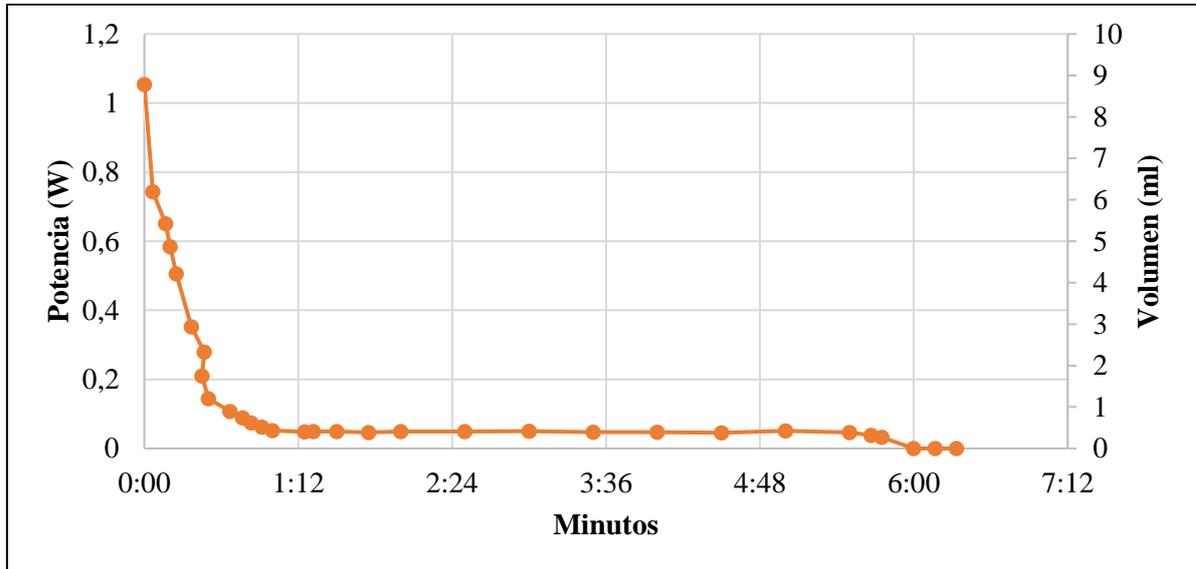


Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A. elaborado en el software Excel 2016.

En primera instancia recogemos los datos sobre los parámetros eléctricos: voltaje e intensidad. Los valores recolectados se visualizan en la Figura N° 24. Interpretando la gráfica, el valor máximo es 6 V y 0.17 A. Los valores caen a medida que la presión del gas (hidrógeno) se reduce hasta un periodo de estabilización en el segundo 45 donde mantiene el voltaje en 2.4 V

y la intensidad en 0.2 A. Estos valores se mantienen estables hasta el minuto 5 donde se apaga el catalizador y la producción de hidrógeno se reduce. La presión del H₂ se reduce al mismo tiempo disminuye el voltaje hasta cero. Lo mismo sucede con la intensidad.

Figura N° 25: Resultados obtenidos sobre la Potencia y Volumen.



Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A. elaborado en el software Excel 2016.

Con los datos de voltaje y corriente podemos calcular la potencia. El resultado se grafica en la Figura N° 25 donde también se coloca los valores del caudal obtenidos de la curva de funcionamiento de la pila de combustible. La máxima potencia y caudal es 1.02 W y 8.78 ml/s. Los valores caen hasta su estabilización en el segundo 45 donde la potencia oscila en 0,086 Watts y el caudal en 0,74 ml/s. Lógicamente, al apagar el catalizador la producción de hidrógeno desaparece y la presión residual aun genera una ligera potencia hasta su disipación total. El caudal teórico es 11.9 ml/s en contraste el dato medido es 8.78 ml/s. Existe una pérdida del 26 %. A causa de pérdidas de gas en los diferentes componentes.

Verificación de la hipótesis

Se dimensionó y construyó un catalizador electrolítico para la obtención de hidrógeno con una producción de 8.78 ml y una potencia eléctrica de 13.4 W. El cual se complementa con una pila de combustible tipo PEM marca Horizon Cell Inc que genera una potencia máxima de 1.02 W. El sistema híbrido solar-hidrógeno consigue su energía mediante un conjunto fotovoltaico que abastece al conjunto con 51,84 W/hora/día.

Todas estas características comprueban la hipótesis planteada. La implementación de todos estos componentes permite la producción y conversión de hidrógeno en energía eléctrica en una potencia máxima de 1.02 W.

12. IMPACTOS

Aspecto Técnico

La implementación de los equipos: catalizador, pila combustible y conjunto fotovoltaico permite la transformación de electricidad excedente proveniente del sistema fotovoltaico en hidrógeno. El cual puede ser utilizado posteriormente para la transformación del gas en electricidad. Se puede utilizar el hidrógeno como un acumulador diferente a las baterías.

Aspecto Ambiental

El desarrollo del proyecto contribuye a la disminución de gases invernadero tomando como referencia que en la Provincia de Cotopaxi anualmente se emiten 1.882,10 Toneladas de CO₂, según datos del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). Para tener una idea más clara 1 kilogramo de H₂ provee aproximadamente la misma energía que 3,8 lts de gasolina. El único subproducto que se obtiene en el proyecto es vapor de agua. En el caso que se realice una instalación domiciliaria, sería en los techos de edificaciones. Disminuyendo el impacto visual. Disminución de contaminantes químicos en el proceso de producción de hidrógeno y conversión de energía. El KOH (Hidróxido de Potasio) no reacciona con los electrodos y solo cumple la función de facilitador en la conducción eléctrica.

13. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Acorde a la planificación realizada al principio de la investigación a fin de cumplir los objetivos en el tiempo propuesto, se llegó a la culminación de nuestro proyecto en 9 meses con un costo total de \$ 2.855,79. En la Tabla N° 17 se individualizan los costos por actividades y porcentaje de avance del proyecto.

Tabla N° 17: Presupuesto del proyecto.

Actividad	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16
Formación del equipo de investigación	-----										
Recopilación de la información bibliográfica	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98	7,98
Construcción de un catalizador electrolítico	-----			368,40	254,80	11,25	4,80	-----			
Selección de los componentes necesarios para sistema fotovoltaico			-----			80,67	125,65	94,80	-----		
Selección e implementación de una pila combustible	-----							700,00	-----		
Construcción del modulo	-----							89,00	22,00	-----	
Instalación del equipo eléctrico	-----										55,00
Mano de obra			65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	65,00	-----
Instrumentación	-----							12,00	90,00	80,00	-----
Contingencias	-----										259,62
COSTO POR AVANCE	7,98	7,98	72,98	441,38	327,78	164,90	203,43	968,78	184,98	152,98	322,60
COSTO TOTAL ACUMULADO	7,98	15,96	88,95	530,33	858,11	1.023,01	1.226,44	2.195,22	2.380,21	2.533,19	2.855,79
PORCENTAJE DE AVANCE	0,28%	0,56%	3,11%	18,57%	30,05%	35,82%	42,95%	76,87%	83,35%	88,70%	100,00%

Elaborado por: Chicaiza F., Jácome A.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se termina la investigación bibliográfica la misma que permite la implementación de un sistema de producción y conversión de hidrógeno de 8.78 ml (mililitros) de hidrógeno. El cual trabaja con una fuente primaria de energía solar y conversión de hidrógeno mediante una pila combustible tipo PEM (Membrana Intercambiadora de Protones) aplicando método científico experimental.
- Mediante cálculo se construye un catalizador electrolítico tipo seco de 7 placas de acero inoxidable de 120*120 cm² conectadas en serie cuya potencia de trabajo es 13.5 Watts,

una intensidad de 1.16 A (amperios) y con una producción de hidrógeno de 8.78 ml (mililitros).

- Se establece mediante selección un sistema energético fotovoltaico para la producción de hidrógeno con un panel solar cuya potencia pico es 50 Wp, un regulador de carga de 2.16 A y un acumulador (batería) de 55 Ah con 6 días de reserva de energía.
- Se selecciona una pila de combustible tipo PEM (Membrana Intercambiadora de Protones) marca Horizon Cell de 12W para la conversión directa de la generación de hidrógeno en energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

- Implementar al sistema un sistema de almacenamiento de hidrógeno que permita su acumulación y aprovechamiento cuando no exista la disponibilidad de la energía solar.
- Es necesario para mejorar la cuantificación de la producción de hidrógeno manejar un medidor de flujo de gases
- Efectuar la adecuación de una fuente variable para el catalizador electrolítico que permita la manipulación de la potencia entregada y, a su vez, controlar la intensidad que fluye entre las placas; permitiendo la variabilidad de la producción de hidrógeno
- Experimentar con otro tipo de solutos, como la sosa cáustica, y verificar las características de la producción de hidrógeno.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, A. (2009). *Descripción y Modelado de una Pila de combustible de Membrana de Intercambio Protónico*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Ahmed, S., & Krumpelt, M. (2001). Autothermal reforming study of diesel for fuel cell application. (ScienceDirect, Ed.) *Journal Power Sources* 159, 1283-1290. Obtenido de fulltext.study/download/1287285.pdf
- Anderson, J., & Bouduart, M. (1984). Conceptos basicos de las pilas combustible. En J. Anderson, & M. Bouduart. Springer-Verlag: Catalytic Steam Reforming .
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Episteme.
- Barreras, F., & Lozano, A. (2012). *Energía sostenible para todos*. Obtenido de Hidrógeno. Pilas de combustible de tipo PEM:

- <http://www.energia2012.es/sites/default/files/Hidr%C3%B3geno.%20Pilas%20de%20combustible%20de%20tipo%20PEM.pdf>
- Barreras, F., & Lozano, A. (2012). Hidrógeno. Pilas de combustible. Zaragoza. Obtenido de www.energia2012.es
- Bermudez, S. (2007). Video - Pilas de combustible. Vigo: Universidad de Vigo.
- Cengel, Y., & Boles, M. (2002). *Termodinamica* (5 ed.). Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Comisión Europea. (2003). *La energía del hidrógeno y las Pilas de combustible*. Bruselas: Dirección General de Energía y Transporte.
- CONELEC. (Agosto de 2008). Atlas solar del Ecuador. Quito. Obtenido de www.energia.org.ec
- CONELEC. (19 de Diciembre de 2011). *Regulación N° 004/11 PRECIOS DE LA ENERGÍA PRODUCIDA CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES NO CONVENCIONALES*. Obtenido de www.regulacionconelec.gob.ec
- Dicks, J. (1996). Hydrogen generation from natural gas for the fuel cell systems of tomorrow. *Power Sources* 61, 113. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775396023476>
- Dixon, R. (2006). *Global Status and trends of the hydrogen economy*. Obtenido de Sustainable development UN: http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/energy/op/hydrogen_seminar/presentations/05_dixon_iaea.pdf
- Enercity. (2008). Handbook 50C. Texas.
- Garcia, J. (2013). *generador de hidrógeno por electrólisis generador de hidrógeno por electrólisis*. Azcapotzalco: Instituto Politecnico Nacional.
- Holgado, H. (2012). *Estudio, diseño y construcción de un generador de hidrógeno por electrólisis*. Barcelona: Universidad Politecnica de Cataluña. Tesis de Ingeniería.
- Horizon Inc. (8 de 12 de 2008). Fuel Cell store H 12 Manual. Obtenido de www.fuelcellstore.com
- INAMHI. (2016). *Boletín climatológico anual 2015*. Obtenido de INAMHI-biblioteca: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/clima/>
- Linares, J., & Moratilla, B. (2001). *Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energética*. Madrid, España: Universidad Pontificia Comillas.

- Obrero, J. (2011). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. Obtenido de McGraw-Hill/ Interamericana de España:
assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf
- Odón, F. G. (2012). *Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Episteme.
- Purcell, E. (1988). *Electricidad y Magnetismo*. Madrid: Reverté.
- Rumar, M. K. (2008). Synthesis, characterization and catalytic behaviour of NiMgAl mixed. (E. B.V., Ed.) *Catalysis today* XXX, 33. doi:10.1016/j.cattod.2007.12.070

ANEXOS

Anexo N° 1	Hoja de vida del Tutor del proyecto de Investigación	1/1
ING. CARLOS ALFREDO ESPINEL CEPEDA		
1.- DATOS PERSONALES		
<ul style="list-style-type: none"> • NOMBRES Y APELLIDOS: Carlos Alfredo Espinel Cepeda • FECHA DE NACIMIENTO: 16 de Abril de 1983 • CEDULA DE CIUDADANÍA: 050268518-3 • NUMEROS TELÉFONICOS: 0984744165/ 032812162 (Latacunga) • E-MAIL: chinoespinel@yahoo.es / espinelc.caec@gmail.com 		
2.- ESTUDIOS REALIZADOS		
<ul style="list-style-type: none"> • NIVEL PRIMARIO: Escuela “Simón Bolívar” • NIVEL SECUNDARIO: “Instituto Tecnológico Ramón Barba Naranjo” • NIVEL SUPERIOR: Universidad Técnica de Cotopaxi 		
3.- TÍTULOS		
<ul style="list-style-type: none"> • PREGRADO: Ingeniero en Electromecánica. • Suficiencia en el Idioma Ingles. 		
4.- EXPERIENCIA LABORAL		
<ul style="list-style-type: none"> • Universidad Técnica de Cotopaxi. Docente de la Carrera de Ingeniería Electromecánica (2015/2016). • Novacero (032998400). Comprador de Repuestos Mecánicos y Eléctricos (2011/2015) • Industrias Verton (023260641). Automatización de una inyectora de poliuretanos (2009/2010) • Eduplastic (032271303). Jefe de producción y mantenimiento industrial (2001/2009) • Tecni Industrias Mash. Operador de tornos y fresadoras (1999) • Tornos Mena e Hijos (032809766). Ayudante y operador de tornos (1998). 		
5.- OTROS MERITOS Y CONOCIMIENTOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Mejor Egresado de la Segunda Promoción de la Especialización de Ingeniería Electromecánica. • Curso de AUTODESK INVENTOR 2013 • Manejo de Paquetes Informáticos (Word , Excel, Power Point, Internet) • Brigadista y líder de brigada de primeros auxilios en Novacero Planta Lasso. • Poder de Negociación con Proveedores Externos. • Buenas Relaciones Interpersonales 		

INFORMACIÓN PERSONAL		
Nombres y Apellidos:	Chicaiza Almachi Franklin Cirilo	
Fecha de Nacimiento:	24 de Mayo de 1991	
Lugar de Nacimiento:	Tungurahua - Píllaro	
Nacionalidad:	Ecuatoriana	
Ciudad Domicilio:	Machachi	
Dirección Domicilio:	Av. José Ignacio Albuja, Aloasí	
Número Celular:	0939950032	
Email:	franklin_915@outlook.com	
Cédula de Identidad:	172173848-0	
Tipo Licencia de Conducir:	B	
Estado Civil:	Soltero	
Número de hijos:	Ninguno	
Tipo Sanguíneo:	O+	
Licencia de riesgos Eléctricos	SI	
INFORMACIÓN ACADÉMICA		
Educación	Nombre Institución	Nivel Aprobado
Educación Primaria	Escuela Particular Mixta "Santa Ana"	completo
Educación Secundaria	Instituto Tecnológico Superior Aloasí	completo
Educación Superior	Universidad Técnica de Cotopaxi	último nivel
Inglés	Universidad Técnica de Cotopaxi	completo
CONOCIMIENTOS Y CAPACITACIÓN ADICIONAL		
Nombre Curso	Nombre Institución	Fecha
V congreso nacional de electricidad y energías alternativas expo electricidad 2015	Universidad Central del Ecuador	27 al 28 de noviembre del 2015
II jornadas de ingeniería eléctrica y electromecánica con enfoque de tecnología	Universidad Técnica de Cotopaxi	21 de enero del 2014
III jornadas de ingeniería eléctrica y electromecánica con enfoque de tecnología	Universidad Técnica de Cotopaxi	3 al 5 de febrero del 2015
Licencia de Riesgos Eléctricos	CEPRYTSA S.A	02 de Febrero del 2016
Suficiencia en inglés	Universidad Técnica De Cotopaxi	Febrero del 2016
FIRMA 		

INFORMACIÓN PERSONAL

Nombres y Apellidos:	Alex Marcelo Jácome Corrales
Fecha de Nacimiento:	10 de noviembre de 1990
Lugar de Nacimiento:	Cotopaxi- Latacunga
Nacionalidad:	Ecuatoriana
Ciudad Domicilio:	Latacunga
Dirección Domicilio:	Barrio "La Calera"
Número Celular:	0992975407
Email:	alex.jacome.corrales90@gmail.com
Cédula de Identidad:	0502998735
Estado Civil:	Soltero
Número de hijos:	Cero
Tipo Sanguíneo:	O+
Licencia de riesgos Eléctricos	

INFORMACIÓN ACADÉMICA

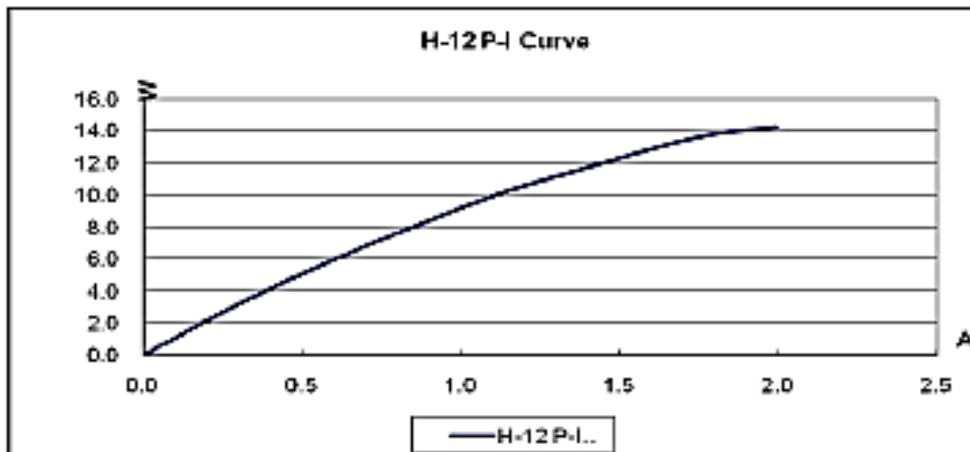
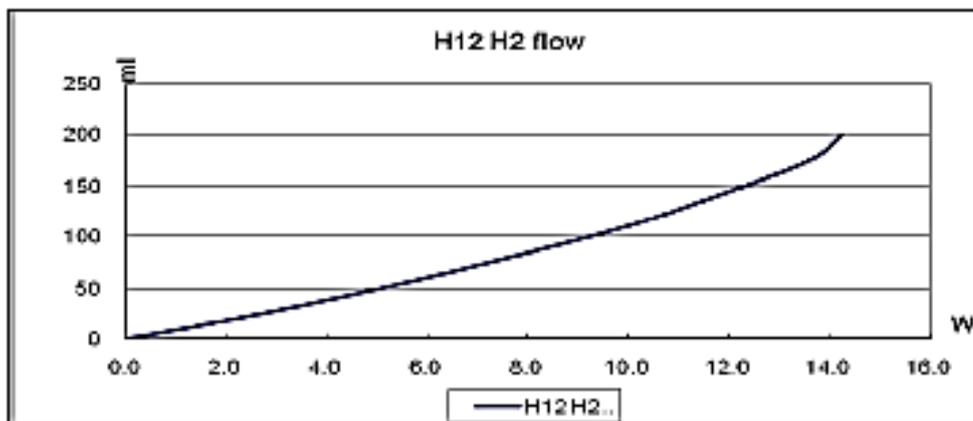
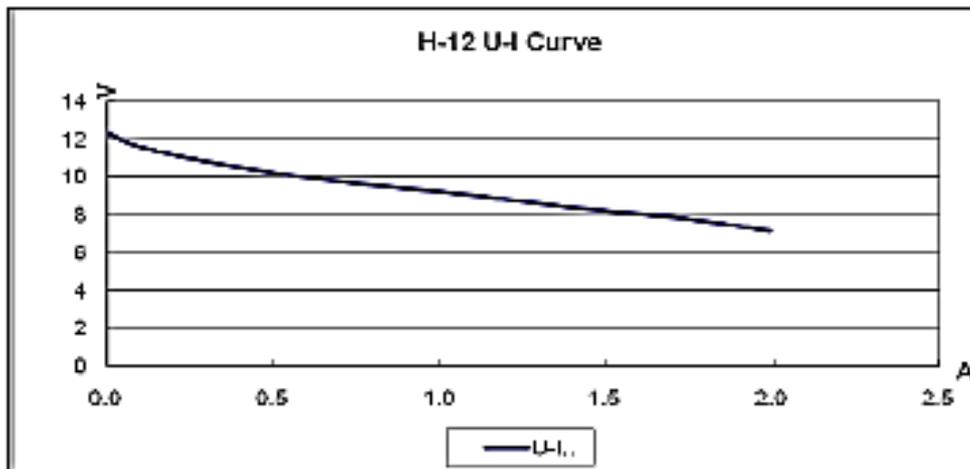
Educación	Nombre Institución	Nivel Aprobado (completo/último nivel)
Educación Secundaria	Instituto Tecnológico Ramón Barba Naranjo	completo
Educación Superior	Universidad Técnica de Cotopaxi	último nivel
Suficiencia en Inglés	Universidad Técnica de Cotopaxi	completo

CONOCIMIENTOS Y CAPACITACIÓN ADICIONAL

Nombre Curso	Nombre Institución	Fecha
III Seminario Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica con enfoque de tecnología.	Universidad Técnica de Cotopaxi	03 al 05 de Febrero del 2015

Firma

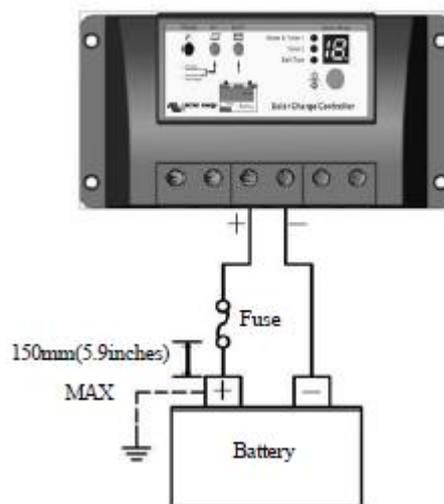

Type of fuel cell	PEM
Number of cells	13
Rated Power	12W
Performance	7.8V @ 1.5A
Purging valve voltage	6V
Blower voltage	5V
Reactants	Hydrogen and Air
External temperature	5 to 30°C
Max stack temperature	55°C
H2 Pressure	0.45-0.55bar
Hydrogen purity	≥ 99.995 % dry H2
Humidification	self-humidified
Cooling	Air (integrated cooling fan)
Weight (with fan & casing)	275 grams(±30 grams)
Dimension	7.5cmX4.7cmX7.0cm
Flow rate at max output*	0.18 L/min
Start up time	≈ 30S at ambient temperature
Efficiency of stack	40% @ at full power



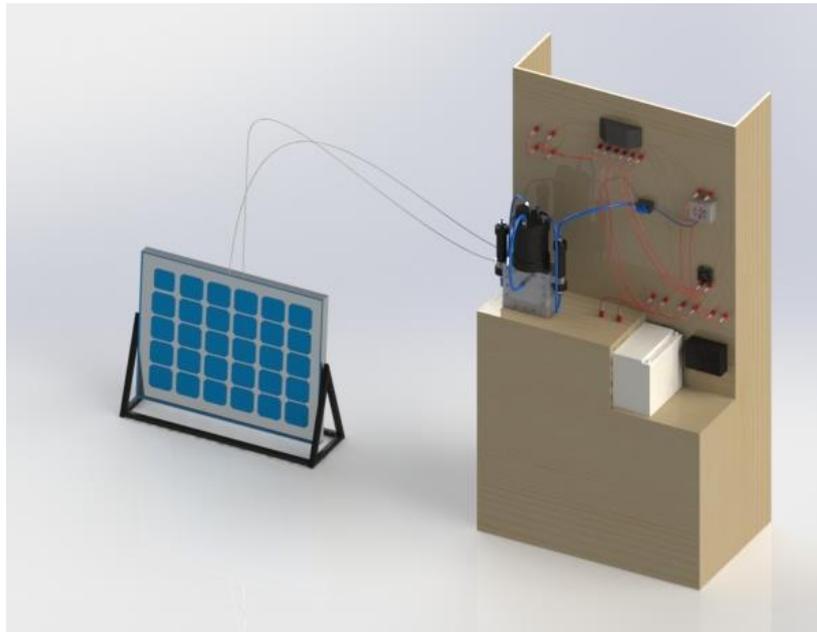


Specification Summary

Nominal system voltage:	12 / 24VDC*
Maximum PV input voltage:	50V
Nominal charge / discharge current	10A



**CATALIZADOR ELECTROLÍTICO DE OBTENCIÓN DE HIDRÓGENO PARA
ALMACENAR ENERGÍA ELÉCTRICA EN UN SISTEMA PILA COMBUSTIBLE**



MANUAL DEL USUARIO

Autores:

Chicaiza Almachi Franklin Cirilo

Jácome Corrales Alex Marcelo

Universidad Técnica de Cotopaxi

2016

Información importante de seguridad

Este manual incorpora guías y recomendaciones de seguridad. Sin embargo, este documento no cubre todas las situaciones. Es necesario la corresponsabilidad del usuario el conocer todas las medidas de seguridad, tanto las contenidas dentro de este manual como las impartidas dentro del laboratorio de Energías renovables durante la instalación, operación y mantenimiento del Catalizador electrolítico y sus componentes suplementarios.

Normas de Seguridad

La operación y manipulación de cualquier componente del módulo que funcione con energía eléctrica puede generar daño al operador. Por tal motivo se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- No vestir accesorios metálicos – anillos, brazaletes, cadenas – cuando manipule cualquier componente.
- Minimice la posibilidad de descarga estática.
- Reduzca la probabilidad de generar conductividad eléctrica entre las diferentes superficies de los aparatos.
- Evite salpicaduras de agua (electrolito) sobre cualquier superficie y está prohibido manipular los dispositivos en condiciones húmedas. (manos mojadas, superficies húmedas).
- Nunca cause daño en los terminales de conexión u cables eléctricos. Utilice accesorios en excelentes condiciones.
- La manipulación del catalizador electrolítico (reposición de los niveles de electrolito, conexión y desconexión de los terminales neumáticos y eléctricos) debe realizarse desenergizando el equipo.
- Evite el contacto con la pila de combustible durante su operación a máxima capacidad. Esta puede generar un aumento peligroso de temperatura, en sitios cerrados, provocando quemaduras sobre la piel.

Mantenimiento

Panel solar

Frecuencia diaria o en cada practica:

- Limpiar la superficie cristalina del dispositivo. El polvo y suciedad puede causar ineficiencia energética sobre el aparato
- Verificar las conexiones eléctricas
- Verificar las condiciones de los cables eléctricos

Catalizador electrolítico

Frecuencia diaria o en cada practica:

- Verificar la existencia de filtraciones del electrolito. En cuyo caso deben ser selladas con resina. O cualquier sellante de pvc.
- Verificar las conexiones eléctricas o corrosión en los terminales

Frecuencia semanal:

- Conservar la concentración de Hidróxido de potasio en la solución. Para ello comparar los niveles de producción de hidrógeno antes y después de la reposición de la solución. Estos deben mantenerse estables en el tiempo.
- Mantener los niveles del electrolito en el depósito. Verificar que el electrolito cubra la superficie de los electrodos.

Pila de combustible

Frecuencia cada 4 semanas:

Si la pila de combustible no ha sido utilizada en un periodo igual o mayor a 4 semanas las características de funcionamiento de esta puede disminuir hasta un 50%. Se recomienda:

- 1) Retirar la tubería de alimentación de hidrógeno.
- 2) Conectar una jeringa con agua destilada en la entrada de hidrógeno de la pila.
- 3) Inyectar el líquido en el interior del aparato hasta que escurra agua destilada por la salida de hidrógeno.
- 4) Mantenga el agua destilada y sin desconectar la jeringa por 2 minutos.
- 5) Después que haya transcurrido este tiempo. Con la ayuda de la misma jeringa extraer el agua destilada de la pila.
- 6) Absorba la mayor cantidad de agua destilada. Un exceso de agua dentro del dispositivo es dañino para la pila de combustible.
- 7) Reconecte la tubería de alimentación de hidrógeno del catalizador.
- 8) Mantenga el funcionamiento del catalizador y de la pila por un periodo de 30 minutos.

Estos pasos mejoraran las características energéticas de la pila de combustible. Y prolongaran el funcionamiento de la misma, con una mínima degradación de sus elementos internos.

INSTALACIÓN

A continuación, se detallan 5 prácticas de laboratorio en las cuales se describen el diagrama de conexiones y los componentes involucrados

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

TEMA: Medición de los parámetros eléctricos del panel fotovoltaico variando el ángulo de inclinación

1.- OBJETIVOS

- Identificar los componentes necesarios para la generación de energía solar directa
- Verificar el comportamiento de los parámetros eléctricos del módulo fotovoltaico al variar el ángulo de inclinación del panel

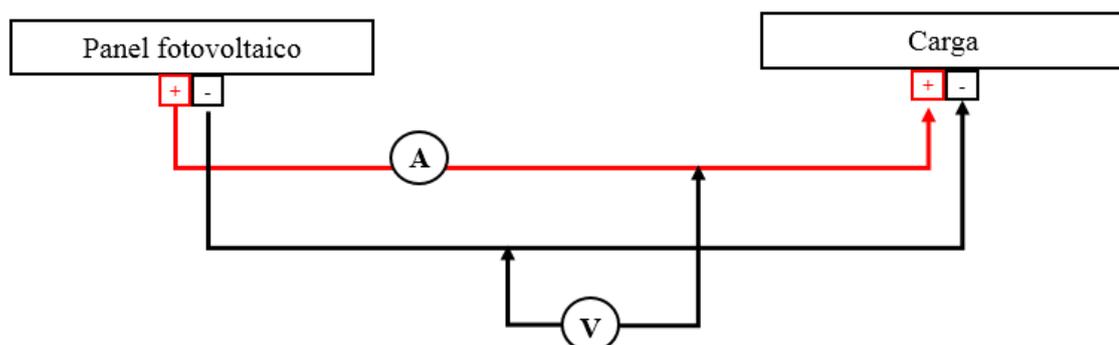
2.- MATERIALES

- Panel solar de 50 W
- Regulador de carga
- Carga de 12 V, 50 W
- Cable
- Amperímetro
- Voltímetro
- Cuaderno de notas

3.- PROCEDIMIENTO

- Exponer el panel el panel a la luz solar.
- Cablear el banco de pruebas como se indica en el punto 4.
- Colocar el panel con un ángulo de inclinación paralelo al suelo
- Realizar la primera medición de intensidad eléctrica y voltaje
- Variar paulatinamente la inclinación del panel y registrar los cambios en los parámetros eléctricos
- Registrar el ángulo de inclinación del sol (acimut)
- Representar los resultados obtenidos en un gráfico de dispersión (ángulo de inclinación vs. potencia)

4.- CIRCUITO



5.- CONCLUSIONES

- Se realizó la práctica utilizando los materiales y herramientas necesarias en el banco de prueba para la realización del ejercicio.
- Se identificó los componentes principales de un sistema fotovoltaico
- Se realizó y comprobó la influencia del ángulo de inclinación solar (acimut) con respecto a la potencia generada por el sistema fotovoltaico

6.- RECOMENDACIONES

- Antes de electrificar el circuito verificar la interconexión eléctrica de los diferentes componentes
- Monitorear los parámetros eléctricos: voltaje e intensidad
- Contrastar los resultados obtenidos con el valor acimut

8.- CUESTIONARIO

- 1) ¿Cuáles son los componentes esenciales de un sistema fotovoltaico?
- 2) ¿Qué función cumple el Regulador de carga en la práctica?
- 3) ¿Cómo influye el valor acimut en los resultados obtenidos?
- 4) ¿Cuáles son los valores máximos y mínimos de la potencia generada?

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

TEMA: Medición de los parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico en relación con la radiación solar

1.- OBJETIVOS

- Identificar las variables que influyen en la generación de hidrógeno
- Verificar el comportamiento de los parámetros eléctricos en relación con el catalizador electrolítico

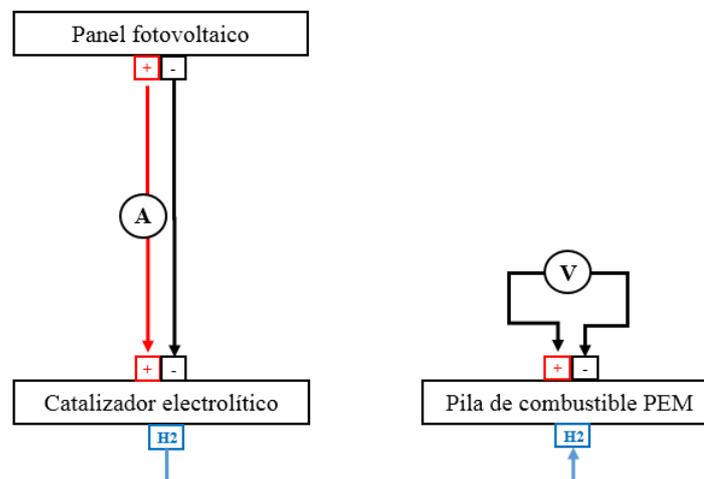
2.- MATERIALES

- a) Panel solar de 50 W
- b) Cable
- c) Amperímetro
- d) Voltímetro
- e) Catalizador electrolítico
- f) Cuaderno de notas

3.- PROCEDIMIENTO

- Exponer el panel el panel a la luz solar.
- Cablear el banco de pruebas como se indica en el punto 4.
- Realizar la primera medición de intensidad eléctrica y voltaje.
- Registrar los valores obtenidos cada 5 minutos en un periodo de 1 hora.
- Representar los resultados obtenidos en un gráfico de dispersión (Intensidad vs. voltaje)

4.- CIRCUITO



5.- CONCLUSIONES

- Se realizó la práctica utilizando los materiales y herramientas necesarias en el banco de prueba para la realización del ejercicio.
- Se identificó los componentes de medición necesarios para registrar los parámetros eléctricos de un sistema fotovoltaico y el catalizador electrolítico
- Se realizó y comprobó la influencia de los parámetros eléctricos con respecto a la potencia generada por la pila combustible

6.- RECOMENDACIONES

- Antes de electrificar el circuito verificar la interconexión eléctrica de los diferentes componentes
- Monitorear los parámetros: voltaje e intensidad
- Anotar cualquier evento atmosférico: nubosidad y lluvia
- Contrastar los resultados obtenidos

8.- CUESTIONARIO

- 1) ¿Qué función cumple cada instrumento de medición?
- 2) ¿Cuál es la influencia de la energía del panel solar con la potencia entregada por la pila de combustible?
- 3) ¿Cómo influye radiación solar en los resultados obtenidos?
- 4) ¿Cuáles son los valores que intervienen en la producción de hidrógeno?

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

TEMA: Medición de los parámetros eléctricos del conjunto de generación de hidrógeno

1.- OBJETIVOS

- Identificar los componentes esenciales dentro del sistema de producción de hidrógeno
- Verificar el comportamiento de los parámetros eléctricos del conjunto de generación de hidrógeno

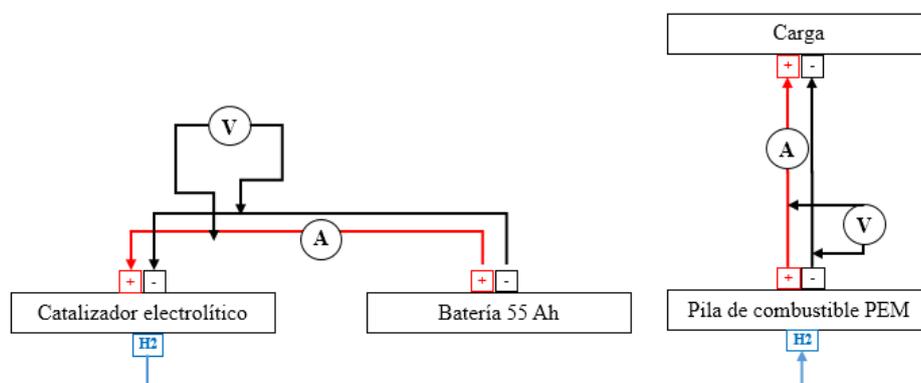
2.- MATERIALES

- a) Batería
- b) Catalizador electrolítico
- c) Pila de combustible tipo PEM
- d) Cable
- e) Amperímetro
- f) Voltímetro
- g) Cuaderno de notas

3.- PROCEDIMIENTO

- Cablear el banco de pruebas como se indica en el punto 4.
- Encender el catalizador electrolítico
- Realizar la primera medición de intensidad eléctrica y voltaje.
- Registrar los valores obtenidos cada 30 segundos en un periodo de 10 minutos.
- Apagar el catalizador electrolítico
- Continuar el registro por un periodo de 5 minutos
- Representar los resultados obtenidos en un gráfico de dispersión (Potencia vs. Tiempo)

4.- CIRCUITO



5.- CONCLUSIONES

- Se realizó la práctica utilizando los materiales y herramientas necesarias en el banco de prueba para la realización del ejercicio.
- Se identificó los componentes esenciales en el sistema de producción y generación de energía por medio de hidrógeno
- Se realizó y comprobó la influencia del hidrógeno con respecto a la generación de energía

6.- RECOMENDACIONES

- Antes de electrificar el circuito verificar la interconexión eléctrica de los diferentes componentes
- Monitorear los parámetros: voltaje e intensidad
- Anotar el tiempo en el cual se realizó el encendido y apagado del catalizador electrolítico
- Contrastar los resultados obtenidos

8.- CUESTIONARIO

- 1) ¿Qué función cumple cada dispositivo en la producción de hidrógeno?
- 2) ¿Qué parámetros influyen en la producción de hidrógeno?
- 3) ¿Cuáles son los valores máximos y mínimos de la potencia en la entrada y salida del ciclo de producción y generación de energía de hidrógeno?
- 4) ¿Cuál es la eficiencia eléctrica de cada componente?

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

TEMA: Medición de los parámetros de producción del catalizador electrolítico

1.- OBJETIVOS

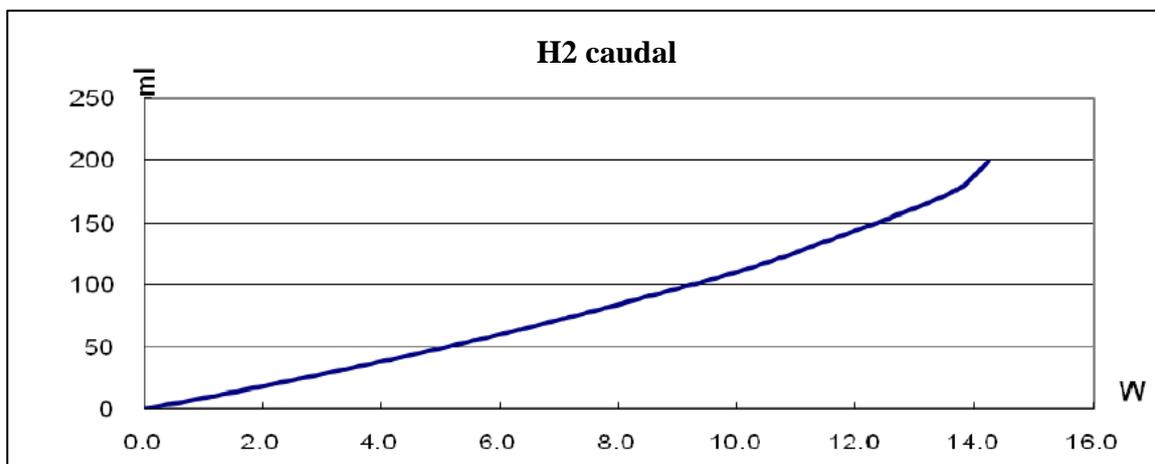
- Identificar los parámetros que influyen en la producción de hidrógeno
- Verificar el comportamiento de los energético del conjunto de generación de hidrógeno

2.- MATERIALES

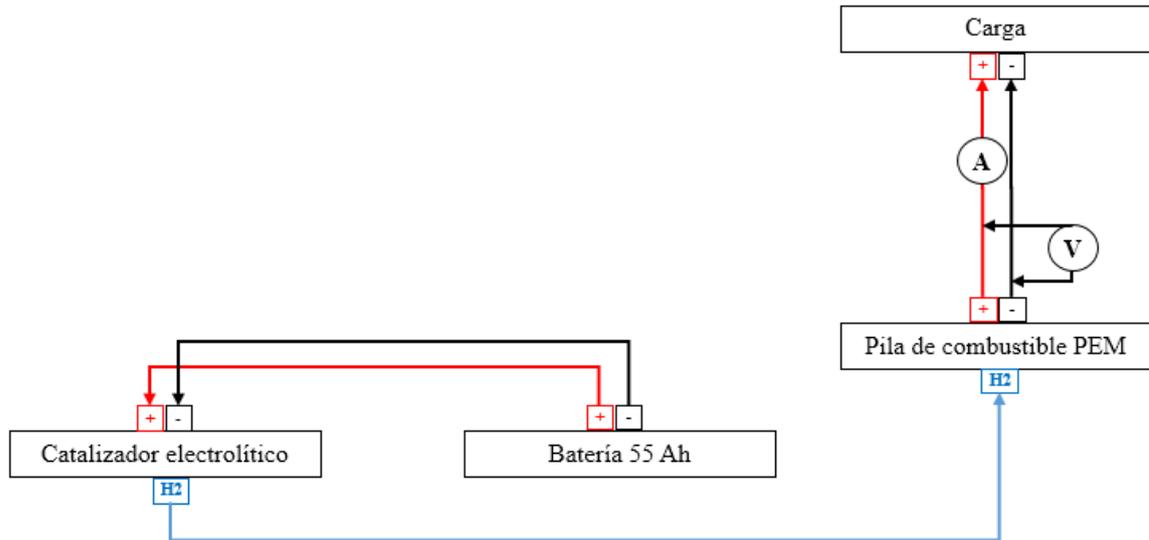
- a) Batería
- b) Catalizador electrolítico
- c) Pila de combustible tipo PEM
- d) Cable
- e) Amperímetro
- f) Voltímetro
- g) Cuaderno de notas

3.- PROCEDIMIENTO

- Cablear el banco de pruebas como se indica en el punto 4.
- Encender el catalizador electrolítico
- Realizar la primera medición de intensidad eléctrica y voltaje.
- Registrar los valores obtenidos cada 30 segundos en un periodo de 10 minutos.
- Apagar el catalizador electrolítico
- Continuar el registro por un periodo de 5 minutos
- Representar los resultados obtenidos en un gráfico de dispersión (Potencia vs. Tiempo)
- En base a los resultados obtenidos, utilizar la siguiente grafica (H2 caudal) para crear una curva de producción de hidrógeno en función de la potencia



4.- CIRCUITO



5.- CONCLUSIONES

- Se realizó la práctica utilizando los materiales y herramientas necesarias en el banco de prueba para la realización del ejercicio.
- Se identificó los componentes esenciales en el sistema de producción de hidrógeno
- Se realizó y comprobó la influencia del hidrógeno con respecto a la potencia de la carga

6.- RECOMENDACIONES

- Antes de electrificar el circuito verificar la interconexión eléctrica de los diferentes componentes
- Monitorear los parámetros: voltaje e intensidad
- Anotar el tiempo en el cual se realizó el encendido y apagado del catalizador electrolítico
- Contrastar los resultados obtenidos

8.- CUESTIONARIO

- 1) ¿Cuáles son los valores máximos y mínimos de la producción de hidrógeno?
- 2) ¿Cuál es la caudal promedio generado por catalizador electrolítico?

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

TEMA: Eficiencia energética del sistema hibrido solar - hidrógeno

1.- OBJETIVOS

- Identificar los parámetros que influyen en el sistema hibrido solar – hidrógeno
- Verificar el comportamiento de los energético del sistema hibrido solar - hidrógeno

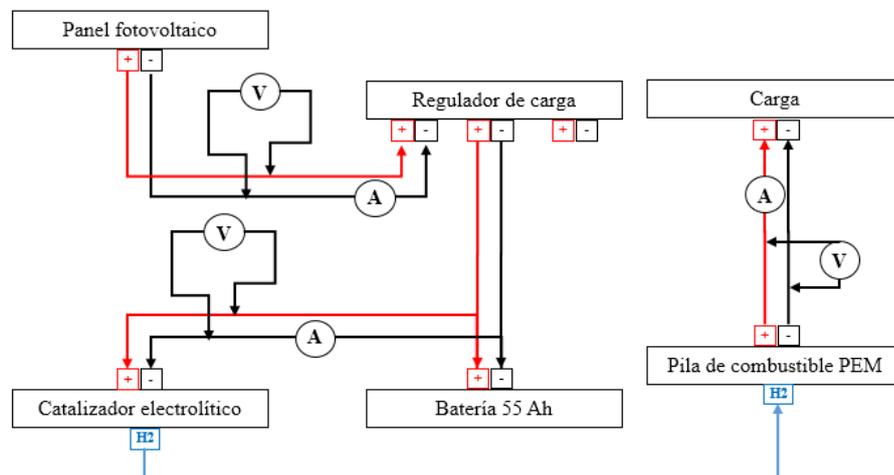
2.- MATERIALES

- a) Panel solar
- b) Regulador de carga
- c) Batería
- d) Catalizador electrolítico
- e) Pila de combustible tipo PEM
- f) Cable
- g) Amperímetro
- h) Voltímetro
- i) Cuaderno de notas

3.- PROCEDIMIENTO

- Cablear el banco de pruebas como se indica en el punto 4.
- Encender el catalizador electrolítico
- Realizar la primera medición de intensidad eléctrica y voltaje.
- Registrar los valores obtenidos cada 30 segundos en un periodo de 10 minutos.
- Apagar el catalizador electrolítico
- Continuar el registro por un periodo de 5 minutos
- Representar los resultados obtenidos en un gráfico de dispersión (Potencia vs. Tiempo) en cada punto de medición

4.- CIRCUITO



5.- CONCLUSIONES

- Se realizó la práctica utilizando los materiales y herramientas necesarias en el banco de prueba para la realización del ejercicio.
- Se identificó los componentes esenciales en el sistema de sistema hibrido solar - hidrógeno
- Se realizó y comprobó la influencia de la producción solar en la producción de hidrógeno

6.- RECOMENDACIONES

- Antes de electrificar el circuito verificar la interconexión eléctrica de los diferentes componentes
- Monitorear los parámetros: voltaje e intensidad de cada punto de medición
- Anotar el tiempo en el cual se realizó el encendido y apagado del catalizador electrolítico
- Contrastar los resultados obtenidos

8.- CUESTIONARIO

- 1) ¿Cuáles son los valores máximos y mínimos de potencia en la entrada y salida del sistema?
- 2) ¿Cuál es la eficiencia eléctrica del sistema fotovoltaico con respecto a las necesidades energéticas del catalizador electrolítico?
- 3) ¿Cómo se relaciona la potencia requerida por el sistema de producción y la generación de energía de la pila de combustible?
- 4) ¿Cuál es la eficiencia energética del sistema hibrido solar - hidrógeno?

